This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

East Engin.
Library

Digitized by Google

East Engin.
Library
TS
320
.S332
1921

F6

Digitized by Google

Digitized by Google

Lehrgang der Härtetechnik

Von

Dipl.-Ing. **Joh. Schiefer**

Studienrat an den staatl. verein. Maschinenbauschulen und den Kursen für Härtetechnik an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz

und

E. Grün

Fachlehrer der Kurse für Härtetechnik an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz

Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage

Mit 192 Textfiguren

Berlin
Verlag von Julius Springer
1921

Digitized by Google

Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1921 by Julius Springer in Berlin

Digitized by Google

H. 1-/0-82. R. W.

Vorwort zur ersten Auflage.

Gute Werkzeuge, dauernd in gutem Zustande gehalten, sind für jedes industrielle Unternehmen von viel einschneidenderer Bedeutung als gemeinhin angenommen wird. Ihre Bedeutung und die Erkenntnis ihrer Wichtigkeit für den Betrieb wurde durch die Einführung schnellaufender Hochleistungswerkzeugmaschinen gefördert, andererseits machte sich auch der Mangel geeigneter, fachmännisch geschulter Arbeitskräfte geltend, und dies um so mehr, je höher die Anforderungen an diese stetig steigen mußten.

Um einem solchen Mangel entgegenzutreten, wurden an der Gewerbeförderungsanstalt für die Rheinprovinz in Köln a. Rhein »Kurse für Härtetechnik« ins Leben gerufen, die in erster Linie dazu bestimmt sind, Kriegsbeschädigte der Metallindustrie einem Berufe zuzuführen, der ihnen die Möglichkeit einer ihrer Verletzung entsprechenden Betätigung gibt. Es steht aber zu erwarten, daß diese Einrichtung eine dauernde bleiben möge, zum Segen unserer Industrie.

Die Verfasser, denen der Unterricht an diesen Kursen übertragen wurde, erkannten bald die Notwendigkeit eines Leitfadens dafür an, einmal um Zeit zu sparen, die dann für Erklärungen, zur Aussprache über Versuche, Beobachtungen am Mikroskop u. dgl. mehr zur Verfügung steht, dann auch, um die Schwierigkeiten bei den meist Schwerverletzten, ein Diktat nachzuschreiben, zu beseitigen. Aus diesem Grunde ist das Buch in erster Linie für den Unterricht bestimmt. Dann kann und soll es aber auch dem einigermaßen intelligenten Härter ein Hilfsmittel sein, sich mit dem von ihm behandelten Gegenstande so vertraut als nur möglich zu machen, um Fehler zu erkennen und sie zu vermeiden. Denn bekanntlich beruhen sehr viele Reklamationen der Firmen an die Stahlwerke auf nicht sachgemäßer Behandlung der Stähle in der Härterei, bzw. bei der Wärmebehandlung überhaupt. Das betreffende Stahl-

387360

Digitized by Google

werk hat dann einen seiner Härtefachleute zu schicken, die in den meisten Fällen eine der beiden oben angeführten Ursachen als Fehlerquelle angeben müssen.

In einer zweckmäßig eingerichteten Lehrhärterei werden Werkzeuge aller Art und aller Stahlsorten unter Anleitung gehärtet, neue Stahlsorten auf ihre Härtefähigkeit geprüft, Schweißpulver, Einsatz- und Härtemittel untersucht. Sie dient auch den sonstigen Zwecken des Unterrichtes.

Aus diesen Gedanken heraus entstanden, möge das Büchlein seinen Weg machen.

Allen Firmen und Fachleuten, die durch Überlassung von Material, Drucksachen u. dgl. mehr der Sache ihre Förderung haben angedeihen lassen, sowie der Verlagsanstalt für die Ausstattung des Werkchens sei hier verbindlichst gedankt.

Köln a. Rh., im Mai 1918.

Die Verfasser.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die 2. Auflage bringt eine Reihe Erweiterungen und Verbesserungen in Text und Abbildungen, wobei wir Neuerungen, soweit sie uns zugänglich waren, Rechnung getragen haben. Die Druckfehler sind berichtigt worden.

Auch bei der Bearbeitung der neuen Auflage waren wir bemüht, den Charakter des Buches zu wahren: Für die Praxis!

Wir möchten an alle Interessenten die Bitte richten, durch Mitteilung ihrer Erfahrungen, auch der Fehler und Mißerfolge, einen Gedankenaustausch einzuleiten, der u. E. für alle nur von Vorteil sein dürfte.

Allen Firmen, die mit besten Kräften das Werk unterstützt haben, sprechen wir erneut verbindlichsten Dank aus.

Brühl, Bez. Köln Obercassel, Siegkreis

im Herbst 1920.

Die Verfasser.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichnis.

I. Allgemeines.
A. Physikalische und chemische Vorgänge 1
B. Chemische Verbindungen, chemische Elemente und chemische Verwandtschaft 2
Tabelle der wichtigsten Metalle und Nichtmetalle 2
Legierungen 3

II. Materialienlehre.
a) Härtungskohle, Karbidkohle 7
b) Graphit, Temperkohle 7
I. Roheisen 9
a) Weißes Roheisen 9
b) Graues Roheisen 9
II. Schmiedbares Eisen 9
Zusammensetzung des Werkzeugstahles 12
Mangan S. 13. — Wolfram S. 13. — Chrom S. 13. — Nickel S. 14. — Molybdän S. 14. — Titan u. Vanadium S. 14.

III. Das Roheisen.
Die Rohstoffe 14
Der Hochofen 15
Die hüttenchemischen Vorgänge im Hochofen 15
Roheisenanalysen 16
Die Erzeugnisse des Hochofens 17

IV. Darstellung des schmiedbaren Eisens.
Das Herdfrischen 18
Das Puddeln oder Flammofenfrischen 19
Das Bessemer- und Thomasverfahren 21
Das Siemens-Martin- oder Herdfrischverfahren 28
Darstellung des Zement-, Raffinier- und Tiegelstahles 32
Stahlerzeugung im elektrischen Ofen 34

V. Weiterverarbeiten des Stahles durch Schmieden, Pressen und Walzen 39

VI. Einteilung der Werkzeugstähle nach Härtegrad und Verwendungszweck 43

VII. Äußere Beobachtungen an Werkzeugstahl, wie er in den Handel kommt 46

Digitized by Google

VIII. Prüfung des Eisens 48
A. Laboratoriumsprüfverfahren 49
1. Fertigkeitsversuche 49
2. Härteprüfung 50
3. Technologische Proben 51
4. Prüfung des Eisens durch Ätzung 54
B. Prüfverfahren anwendbar im Betrieb 60
1. Härteprüfung mit Hilfe des Skleroskopes 60
2. Kugeldruckverfahren nach Brinell 61
IX. Anlage und Betriebsmittel einer Härterei.
1. Lage des Härteraumes 61
2. Die Feuerungsanlagen zum Erhitzen des Stahles 63
a) Öfen für feste Brennstoffe 63
b) Glüh- und Härteöfen mit Gasfeuerung 70
c) Glüh- und Härteöfen mit Ölfeuerung 79
d) Blei- und Salzbadhärteöfen 82
3. Einrichtungen zur Erzeugung der erforderlichen Verbrennungsluft 91
4. Einrichtungen zur Temperaturmessung 94
5. Elektrische Temperaturmesser und Temperaturfernschreiber 97
6. Abkühlen der Werkstücke beim Härten 112
7. Zusätze zum Härtewasser 115
X. Entlüftung des Härteraumes 124
XI. Wärmewirtschaft im Härtereibetriebe 124
XII. Das Härten.
A. Das System Eisen-Kohlenstoff 138
Der Schnellstahl 144
1. Kohlenstoffstahl 147
2. Manganstahl 148
3. Chromstahl 148
4. Wolframstahl 149
5. Nickelstahl 149
6. Schnellstahl 149
B. Das Härten des Stahles 149
1. Kohlenstoffstahl 151
2. Manganstahl 151
3. Chromstahl 151
4. Molybdänstahl 151
5. Wolframstahl 151
6. Vanadinstahl 152
7. Nickelstahl 152
8. Schnellstahl 152
XIII. Das Anlassen 153
XIV. Das Härten verschiedener Werkzeuge.
Stähle zum Abdrehen von Hartgußwalzen 155
Zentrumbohrer, Kanonenbohrer, Bohrmesser 155
Gewindebohrer 156

Digitized by Google

Gewindebacken oder Schneidbacken 157
Fräser 158
Rohrfräser und Rohrschneider 161
Reibahlen 161
Scherenmesser, Kreisscherenmesser u. dgl. 162
Fassonmesser zum Stanzen von Gummi, Leder u. dgl., für Sohlen, Absätze u. a. m. 163
Lochstempel 163
Gravierte Prägestempel, Schlagnummern usw. 163
Rollenmesser 164
Anfertigung von Schnitten 164
Hammergesenke 165
Hämmer 167
Handmeißel 167
Schrotmeißel und Nietquetscher 168
Döpper und Kreiskörner 168
Ziehdorne 169
Werkzeuge für Bergwerksbetriebe und Steinbrüche 169
Grubenhacken, Kreuzhacken u. dgl. m. 170
Steinhauerwerkzeuge 170
Werkzeuge aus Schweißstahl, Raffinierstahl 170

XV. Das Schweißen des Stahles.
Ausführung des Schweißens 173

XVI. Das Löten des Stahles 183

XVII. Das Richten beim Härten verzogener Werkzeuge. 183

XVIII. Regenerieren, d. h. Verbessern des im Feuer verdorbenen Stahles 186

XIX. Einsatzhärten oder Zementieren 191

XX. Rückkühlvorrichtungen für Härteöl 199

XXI. Sonstige Hilfsmittel einer Härterei 204

XXII. Englische Zoll in Millimetern 209

XXIII. Preise des Stahles 209

XXIV. Gewichtstabelle 210

XXV. Deutsche Edelstahlwerke 212

Sachverzeichnis 214

Digitized by Google

Digitized by Google

I. Allgemeines.

A. Physikalische und chemische Vorgänge.

Die Chemie und die jüngere Schwesterwissenschaft die Physik behandeln Vorgänge, die sich in der Natur, in der Industrie, in der Technik oder im Haushalte abspielen.

Bei physikalischen Vorgängen treten keine stofflichen Veränderungen der Körper ein, es verändert sich nur ihre Form, ihre Gestalt, oder sie zeigen besondere Eigenschaften. So wird z. B. durch einen Schlag mit dem Hammer ein Stück Kohle, Eis, Soda u. dgl. mehr zertrümmert, vom ursprünglichen Stück sind sie nur nach Form und Größe verschieden. Ein weicher Eisenstab, der an sich nicht magnetisch ist, kann diese Eigenschaft erhalten, wenn man um ihn eine Spirale von Kupferdraht wickelt, durch die ein elektrischer Strom geschickt wird. Er hält nunmehr ein Bündel eiserne Nägel fest, läßt sie aber sofort wieder fallen, sobald der elektrische Strom unterbrochen wird.

Bei chemischen Vorgängen tritt eine so durchgreifende Veränderung des Stoffes ein, daß der Unerfahrene nicht zu erkennen vermag, wie oder woraus der Körper entstanden ist, neu erworbene Eigenschaften können, außer durch besondere chemische Behandlung, nicht wieder genommen werden.

Beispiele: Schlägt man mit dem Hammer auf ein Zündblättchen, so nimmt man einen Lichtblitz und einen lauten Knall wahr, die pulverförmige Zündmasse ist in einen weißen Rauch verwandelt, der sich in der Luft leicht verteilt. Wird Eisen längere Zeit feuchter Luft ausgesetzt, so rostet es, wobei es seinen Glanz, seine Härte und seine Festigkeit verliert und in eine braune, leicht zerreibliche Masse übergeht.

Digitized by Google

B. Chemische Verbindungen, chemische Elemente und chemische Verwandtschaft.

Wie die beim chemischen Vorgange angeführten Beispiele erkennen lassen, verändern sich die Stoffe durch äußere Einflüsse so vollständig, daß der ursprüngliche Stoff, das Ausgangsprodukt, nicht mehr erkennbar ist. Man bezeichnet dies als eine chemische Verbindung. So ist beispielsweise Wasser eine chemische Verbindung von Sauerstoff und Wasserstoff.

Durch geeignete Mittel ist man in der Lage, die Zusammensetzung der Stoffe zu ermitteln. Man gelangt dabei schließlich an eine Grenze, bei der die Bestandteile allen Bemühungen, sie noch weiter zu zerlegen, Trotz bieten. Diese Ur- und Grenzstoffe nennt man chemische Elemente. Man hat für sie abgekürzte Bezeichnungen eingeführt, die in nachstehender Tabelle enthalten sind.

Tabelle der wichtigsten Metalle und Nichtmetalle.

Name des Elementes	Chemisches Zeichen	Spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt in Graden Celsius
Aluminium	Al	2,67	657
Blei	Pb	11,37	326
Chrom	Cr	6,74	2000
Eisen, rein	Fe	7,86	1510
Flußeisen	—	7,85	1350—1450
Stahl	—	7,86	1300—1400
Gußeisen, grau	—	7,25	1200
Gußeisen, weiß	—		1130
Kalium	K	0,877	62
Kohlenstoff	C	1,5	—
Kupfer	Cu	8,95	1057
Magnesium	Mg	1,75	750
Mangan	Mn	7,2—8	1900
Molybdän	Mo	9,01	—
Natrium	Na	0,97	96
Nickel	Ni	8.30	1450
Phosphor	P	1,83	44
Quecksilber	Hg	13,57	— 40
Sauerstoff	O	gasförmig	—
Schwefel	S	2,07	114
Silizium	Si	2,49	~ 3000
Titan	Ti	—	—
Wasserstoff	H	gasförmig	—
Wolfram	W	19,13	etwa 3000
Zink	Zn	7,15	420
Zinn	Sn	7,30	230

Digitized by Google

Die chemischen Elemente teilt man ein in Metalle, die sich durch eigenartigen Glanz, durch Schwere, Hämmerbarkeit, Festigkeit und Schmelzbarkeit auszeichnen, Wärme und Elektrizität gut leiten, und in Nichtmetalle, die jene Eigenschaften nicht besitzen.

Es ist nun anzunehmen, daß unter den Elementen ein gewisses Bestreben besteht, eine Verbindung einzugehen und in dieser mit einer gewissen Zähigkeit zu verharren. Dieses Vereinigungsbestreben hat man chemische Verwandtschaft genannt. Sie setzt eine direkte Berührung der Stoffe voraus, die durch mannigfache Mittel, wie Erwärmen, Mischen mit Flüssigkeiten u. a. m. zu unterstützen ist, um den chemischen Vorgang zwischen ihnen einzuleiten.

Legierungen.

Die reinen Metalle genügen in sehr vielen Fällen nicht den Anforderungen der Praxis. Durch Zusammenschmelzen mit anderen Metallen kann man sehr oft die gewünschten Eigenschaften erreichen. Diese Mischungsprodukte oder Legierungen lassen sich entweder in jedem beliebigen Mengenverhältnis herstellen, oder es vermag das eine Metall nur eine begrenzte Menge des anderen aufzunehmen. Auf mechanischem Wege lassen sich die Legierungen nicht in ihre Bestandteile zerlegen; soll es geschehen, so sind meist recht umständliche chemische Untersuchungsverfahren anzuwenden.

II. Materialienlehre.

Wenn wir ein Stück Eisen betrachten, so ist die nächstliegende Frage wohl die, was für ein Stück Eisen haben wir da vor uns: Gußeisen, Schmiedeeisen oder Stahl. Wir versuchen an Hand uns vertrauter und bekannter Unterscheidungsmerkmale eine gewisse Einteilung, Gruppierung, vorzunehmen. Unsere Erfahrung wird uns hierbei nicht im Stiche lassen; denn wir versuchen, wenn irgend angängig, unser Urteil auf die Betrachtung nicht allein der Oberfläche zu beschränken, wir werden vielmehr versuchen, ein Stückchen von dem vor uns liegenden Materiale abzuschlagen, eine Bruchfläche herzustellen, die uns

Digitized by Google

einen Blick in das Innere des Eisens gestattet. Wir sehen dann, daß die Bruchflächen von Gußeisen, Schmiedeeisen und Stahl recht große Unterschiede zeigen. Dunkelgrau bis schwarz die einen, wie aus lauter großen aneinandergereihten Körnern, mit zum Teil glänzenden Flächen, bestehend; die anderen hellgrau, aus feinen Körnchen oder aus lauter Faserchen zusammengesetzt, endlich ohne diese besonderen Merkmale, fast sammetartig aussehend. Doch dies genügt uns noch nicht; wir nehmen ein Vergrößerungsglas oder, wenn möglich, ein Mikroskop zu Hilfe und betrachten unsere Bruchflächen, die nun, je nach der Vergrößerungsfähigkeit des Mikroskops, ganz anders aussehen. Eine ganz neue Welt tut sich unter der scharfen Vergrößerung des Mikroskops auf. Wir erkennen, daß diese Körner und Körnchen sich voneinander sehr wesentlich unterscheiden, daß sie sich bei sehr starker Vergrößerung auflösen in Punkte, gerad- und krummlinige verästelte, mitunter tannenbaumähnliche Gebilde, weiße, helle Flächen, häufig durchzogen von feinen oder dickeren Linien. Erstaunt fragen wir uns wohl, ist das unser Eisenstückchen! Ist das alles auch Eisen oder sind da nicht andere Sachen drin, die zu kennen oder zu bestimmen wichtig wäre! Was ist die Ursache dieser Gebilde, wie entstehen sie, in welcher Weise beeinflussen sie unser Eisen! Eine Reihe solcher Fragen legen wir uns vor, und — möchten sie gerne beantworten. Nun, die Wissenschaft hat alle diese Fragen geklärt und gibt uns die Mittel in die Hand, sie zu lösen.

Offenbar ist nun das, was wir als Eisen anzusprechen gewohnt waren, gar kein reines Eisen, sondern wahrscheinlich eine Mischung aus diesem und einer Reihe anderer Stoffe.

Dem ist in der Tat so. Ganz reines Eisen oder wie man zu sagen pflegt, »chemisch reines Eisen« herzustellen ist sehr schwierig; für die Praxis ist es ohne jede Bedeutung, weil ihm alle die Eigenschaften fehlen, die für uns so wertvoll sind. Man hat es nur zu wissenschaftlichen Untersuchungszwecken im Laboratorium hergestellt. (Fig. 1.)

Vorstehend wurde die Betrachtung der Bruchflächen durch ein Mikroskop erwähnt, die uns neue Einblicke in den Gefügeaufbau der Stoffe gibt. Nur auf Metalle angewendet ist darauf ein Sonderzweig technischer Untersuchungsmethoden aufgebaut

Digitized by Google

worden »die Metallographie«, die heute für die Technologie unentbehrlich ist[1]).

Das chemisch reine oder doch kohlenstoffreie Eisen hat in der Metallographie den Namen »Ferrit« erhalten. Durch Behandlung geschliffener Metallflächen mit Säuren, z. B, Pikrinsäure, Salpetersäure u. a. und bei starker Vergrößerung treten Ätzfiguren auf, wie sie die Figuren 1 und folgende zeigen.

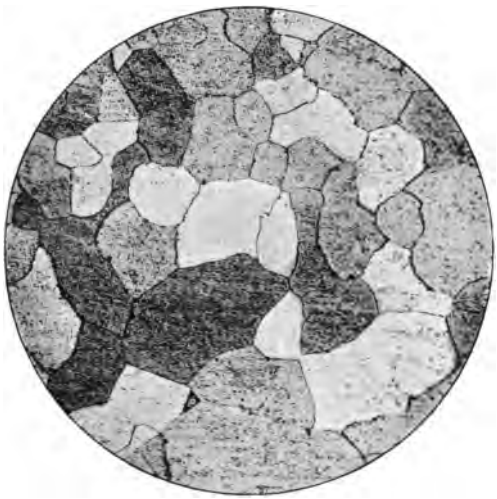


Fig. 1. Reines Eisen. Ferrit. Vergrößerung = 200.
(Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Hinsichtlich Fig. 1 ist zu bemerken, daß Ferrit von heller Farbe ist; die dunkleren Linienzüge sind die Umgrenzungslinien der Kristalle.

Das, was wir gemeinhin als Eisen bezeichnen, ist ein Gemisch, eine Legierung von Eisen mit einer großen Anzahl anderer Stoffe, Elemente genannt. Die wichtigsten hiervon sind: Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel. Wir werden später noch eine Reihe anderer und ihren Einfluß auf das Eisen kennen lernen.

[1]) Vgl. auch S. 54, Prüfung des Eisens durch Ätzung, von Dr.-Ing. Preuß.

Digitized by Google

Wie kommen nun diese Elemente in das Eisen hinein? Um diese Frage zu beantworten, müssen wir etwas vorgreifen. Eisenerze verschiedener Zusammensetzung und Herkunft werden unter Verwendung von Koks im Hochofen zu Eisen niedergeschmolzen. Die verschiedenartige Zusammensetzung der Erze einerseits und das benutzte Brennmaterial andererseits, Koks

Fig. 2. Der glatte weiße erhabene Teil ist Eisenkarbid (sog. Cementit), der glatte vertiefte weiße Teil ist kohlenstofffreies Eisen (Ferrit), der schwarze ist Temperkohle. Vergrößerung = 500. (Aus Wawrziniok, Materialprüfung.)

aus Kohle gewonnen, bringen es mit sich, daß eine große Zahl der in ihnen enthaltenen Beimengungen in das flüssige Eisen übergehen und beim Erstarren darin bleiben, wie beispielsweise die vorerwähnten. Ihre chemische Verwandtschaft zum Eisen ist teilweise so groß, daß es bei den weiteren hüttentechnischen Prozessen besonderer Hilfsmittel bedarf, um sie wieder daraus zu entfernen, als sie, da unerwünscht, keinen günstigen Einfluß auf das Fertigerzeugnis ausüben.

Das wichtigste mit dem Eisen legierte Element ist der Kohlenstoff. Je nach den darin enthaltenen Mengen hat man im jeweils vorliegenden Falle Roheisen oder schmiedbares Eisen.

Digitized by Google

Auch die Formen, in welchen er darin enthalten ist, können recht verschieden sein. Die wichtigsten sind:

a) Härtungskohle, Karbidkohle: der Kohlenstoff ist mit dem Eisen chemisch gebunden als Eisenkarbid. Im flüssigen Eisen ist sie wahrscheinlich gleichmäßig gelöst. Erstarrt dieses plötzlich oder wird es nach dem Erstarren plötzlich bei hoher Temperatur abgekühlt, z. B. durch Abschrecken in kaltem Wasser, so bleibt der Kohlenstoff in dieser gelösten Form als Härtungskohle erhalten. Geht aber das Erstarren und die weitere Abkühlung langsam vor sich, so scheidet sich der Kohlenstoff als Karbidkohle in gleichmäßiger Verteilung aus. (Fig. 2.) Metallographisch ist der Zementit ein Eisenkarbid mit 6,67 v. H. C. Seine Härte ist größer als diejenige einer gehärteten Stahlnadel. Da Zementit farblos glänzend ist, so genügt es, den geäzten Schliff mit einer gehärteten Stahlnadel zu ritzen, die den Zementit nicht angreift, im Ferrit aber die Ritzspur hinterläßt. Man hat so ein Mittel in der Hand um den Zementit in einfachster Weise vom Ferrit zu unterscheiden.

b) Graphit, Temperkohle: Der Graphit entsteht durch Zersetzung des Eisenkarbids, bildet dünne, schwarzglänzende Blättchen, die zwischen den Eisenteilchen eingebettet liegen. Die Temperkohle scheidet sich ebenfalls im kohlenstoffreichen Eisen aus, wenn dieses auf helle Glühtemperatur erhitzt wird; sie besteht aus freien, auf der Bruchfläche sichtbaren, punktförmigen Kohlenstoffteilchen, die amorph sind, also nicht kristallisiert wie der Graphit. (Fig. 3a.)

Bei hohen Temperaturen ist Eisenkarbid im freien Zustande unbeständig, d. h. es zersetzt sich leicht in Kohlenstoff und Eisen. Kann hierbei der gebildete Kohlenstoff seinem Bestreben zu kristallisieren folgen, so bildet sich Graphit. Im Innern der Metallmasse bildet er dünne Blättchen.

Die Temperkohle unterscheidet sich von dem Graphit dadurch, daß sie nicht in Form von Lamellen sondern von Punkten und unregelmäßig begrenzten Knötchen sich abscheidet. (Fig. 3b.)

Man erhält also nach der Menge und der Art des im Eisen enthaltenen Kohlenstoffes folgende Einteilung:

Digitized by Google

Fig. 3a. Der schwarze Streifen stellt den Schnitt durch ein Graphitblatt dar. Vergrößerung = 2000. (Aus Wawrziniok, Materialprüfung.)

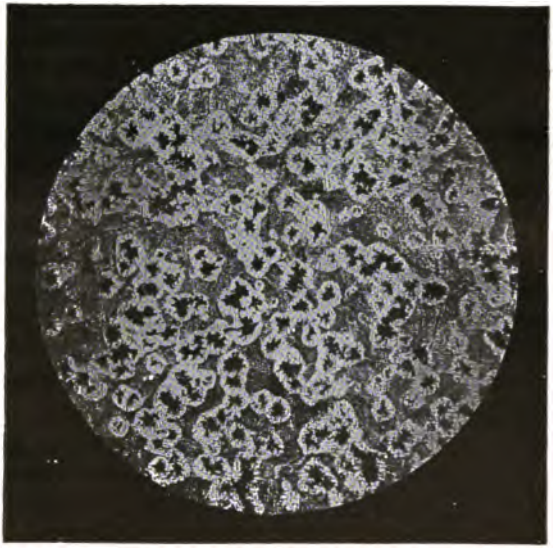


Fig. 3b.

Digitized by Google

I. **Roheisen:** mehr als 2 v. H. Kohlenstoff, leicht schmelzbar, läßt sich nicht schmieden.

a) Weißes Roheisen. Der Kohlenstoff ist an das Eisen chemisch gebunden. Die Legierung ist sehr hart, spröde, von silberweißer Farbe; sie wird in erster Linie zum Zwecke der Umwandlung in schmiedbares Eisen dargestellt. Sie schmilzt bei etwa 1100° C.

Fig. 4. Graues Roheisen. Graphit (schwarz), Eisenkarbit (Cementit). Vergrößerung = 500. (Aus Goerens, Einführung in die Metallographie.)

b) Graues Roheisen. Der Kohlenstoff ist als Graphit oder Temperkohle vorhanden. Es ist weicher, zäher, von hellgrauer bis tiefgrauer Farbe und dient teilweise auch zur Umwandlung des schmiedbaren Eisens; es schmilzt bei etwa 1200° C. (Fig. 4,)

II. **Schmiedbares Eisen:** enthält weniger als 2 v. H. Kohlenstoff, ist schmiedbar, strengflüssiger.

Das schmiedbare Eisen kann eingeteilt werden entweder nach seiner Herstellungsart: Schweißeisen und Flußeisen oder

Digitized by Google

nach den ihm eigentümlichen Eigenschaften: Schmiedeisen und Stahl.

Schmiedbares Eisen bildet sehr leicht Kristalle, nicht nur beim Erstarren aus dem flüssigen Zustande, also beim Flußeisen, sondern auch wenn es sich in teigiger Form beim Frischen im Puddelofen bildet, wie beim Schweißeisen. Im massiven Material hindern sich die Kristalle gegenseitig in ihrer freien Bildung. Wird ein solches Stück durchgebrochen, so sieht man auf der Bruchfläche die einzelnen, unregelmäßig begrenzten Kristallflächen, die man als »Korn« bezeichnet. Bei der Bearbeitung des Eisens nach einer Richtung hin, z. B. im Walzwerk, können die einzelnen Kristalle so zusammengedrückt werden, daß sie sich zu »Sehnen« zusammenlagern, wie es beim Schweißeisen besonders auffällig zu sehen ist (Fig. 5).

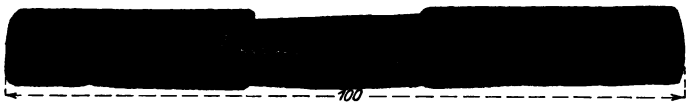


Fig. 5. Schweißen. Flachstab. (Aus Preuß, Die prakt. Nutzanwendung der Prüfung des Eisens usw.)

Die Korngröße wird einmal von der chemischen Zusammensetzung, dann auch von der Art der Behandlung und Bearbeitung beeinflußt. Eisen mit höherem Kohlenstoffgehalt zeigt feineres Korn als weniger gekohltes Eisen. Ähnlich wirkt Mangan; ein höherer Phosphorgehalt bewirkt gröberes Korn. Bei erhitztem und plötzlich abgekühltem Stahl wird das Gefüge feinkörniger; langsame Abkühlung gibt gröberes Korn.

Durch kräftige mechanische Bearbeitung werden die Kristalle zusammengedrückt, hierdurch wird das Gefüge feinkörniger. Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt zeigen nach dem Härten oft ein so feines sammetartiges Gefüge, daß mit bloßem Auge keine Kristallbildung auf der Bruchfläche zu erkennen ist.

Wird das Eisen bei einer Temperatur von etwa 300° bis 400° C, die der blauen Anlauffarbe entspricht, bearbeitet, so tritt leicht Neigung zum Bruch auf, die man als »Blaubruch« bezeichnet. (Fig. 6.)

Digitized by Google

Je reiner das Eisen, um so leichter ist es schmiedbar. Mit wachsendem Kohlenstoffgehalte nimmt die Schmiedbarkeit ab, bei etwa 1 v. H. Kohlenstoff ist sie sehr gering, bei über 1,6 v. H. ist sie nicht mehr vorhanden. Ein höherer Siliziumgehalt wirkt ähnlich; ein Mangangehalt bis zu etwa 1 v. H. erhöht die Schmiedbarkeit, setzt sie aber bei größeren Mengen wieder herab.

Phosphor macht das Eisen kaltbrüchig, beeinflußt aber kaum die Schmiedbarkeit.

Schwefel übt eine äußerst ungünstige Wirkung aus, er macht das Eisen besonders bei dunkler Rotglut sehr brüchig: »Rotbruch«.

Bei großen Mengen Schlackeneinschlüssen zeigt das Eisen beim Schmieden Neigung zur Rißbildung, die man als »Faulbruch« bezeichnet.

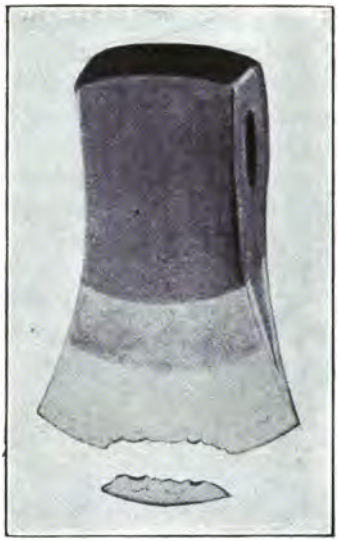


Fig. 6. Sprung in der Schneide eines Beiles, hervorgerufen durch Blaubruch. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Beim Ausglühen kohlenstoffreicher Stähle kann »Schwarzbruch« auftreten. Der Bruchquerschnitt eines schwarzbrüchigen Stahles zeigt ein mattes, infolge der Ablagerung von Temperkohle schwarzgefärbtes Aussehen im Vergleich zu der hellen, unverändert gebliebenen Umgebung. (Fig. 7.)

Fig. 7. Bruchquerschnitt eines schwarzbrüchigen Werkzeugstahles. $^2/_3$ nat. Gr. (Aus Goerens, Metallographie.)

Um zwei aufeinandergelegte Eisenstücke zu schweißen, sind sie auf helle Weißglut zu erhitzen, wodurch das Eisen in einen teigartigen Zustand übergeht. An der Schweißstelle müssen sie

Digitized by Google

eine metallisch reine Berührungsfläche besitzen, also nicht von einer Rost- oder Glühspanschicht überzogen sein. Zur Vermeidung der Bildung einer Oxydationsschicht bestreut man die zu vereinigenden Flächen mit sogenanntem Schweißpulver, welches bei der hohen Temperatur mit den Eisenoxyden eine leicht schmelzbare und dünnflüssige Schlacke bildet, die unter dem zum Schweißen erforderlichen Drucke herausgepreßt wird und so die reinen Metallflächen freilegt.

Bis 1 v. H. Kohlenstoffgehalt ist das Eisen noch schweißbar, bei über 1,6 v. H. Kohlenstoff verliert es die Schweißbarkeit fast vollständig. Mangan wirkt ungünstig auf die Schweißbarkeit, weshalb der Mangangehalt nicht über 0,5 v. H., bei höherem Kohlenstoffgehalte nicht über 1 v. H. sein soll. Silizium übt keinen so großen Einfluß aus, soll jedoch nicht mehr als 0,2 v. H. enthalten. Phosphor und Schwefel sind auf die Schweißbarkeit kaum von Belang.

Zusammensetzung des Werkzeugstahles.

Während bisher kurz die Zusammensetzung des Roheisens und ganz allgemein des schmiedbaren Eisens behandelt worden ist, soll nun auf die des Werkzeugstahles besonders eingegangen werden.

Im allgemeinen wird unter Stahl ein Eisen verstanden, welches, bis zur Rotglut erhitzt und rasch abgekühlt, eine solche Härte annimmt, daß es durch die Feile nicht angegriffen wird. Diese Eigenschaft der Härtbarkeit wird dem Eisen durch einen Kohlenstoffgehalt von etwa 0,5 bis 1,6 v. H. erteilt.

Über das Vorkommen des Kohlenstoffes wurde bereits früher berichtet, es sei hier nur noch einmal kurz erwähnt.

a) Härtungskohle, Karbidkohle. In dieser Form ist er die Ursache der Härtbarkeit des Stahles.

b) Temperkohle, Graphit. Er führt keine Härtung herbei, ist vielmehr von schädlichem Einflusse.

Außer dem Kohlenstoffe kommen im Stahle noch andere Stoffe vor, entweder sind sie in bestimmter Absicht zugesetzt, weil sie eine wesentliche Verbesserung der Eigenschaften herbeiführen, wie: Mangan, Wolfram, Chrom, Nickel, Molybdän, Titan, Vanadium, oder sie sind unbeabsichtigt darin ent-

Digitized by Google

halten und beeinträchtigen, auch in ganz geringen Mengen, die Güte des Stahles wesentlich, wie: Phosphor, Schwefel, Kupfer, Arsen.

Mangan.

Es ist im gewöhnlichen Werkzeugstahl in Mengen von etwa 0,2 bis 0,5 v. H. enthalten. Festigkeit, Härte und Schneidkraft werden in geringem Maße vermehrt. Der im Handel vorkommende Manganstahl hat in der Regel nur den normalen Mangangehalt; er trägt diese Bezeichnung, um ihn freier von Poren und Rissen als anderen Stahl zu kennzeichnen. Wirklicher »Manganstahl« mit 8 bis 20 v. H. Mangan besitzt große Festigkeit, Zähigkeit und so große Naturhärte, daß er kaum zu bearbeiten ist.

Wolfram.

Wolfram erhöht die Härte nicht, gehärteter Wolframstahl weist in der Regel geringere Skleroskophärte[1]) wie gehärteter Kohlenstoffstahl auf. Dagegen ist die Schneidhaltigkeit wesentlich größer; sie bleibt bis zu Temperaturen zwischen 400° bis 500° C erhalten, während sie bei Kohlenstoffstahl bei Temperaturen über 200° schon abnimmt. Meist ist es in Mengen von 2 bis 6 v. H., im Schnellstahle bis zu 18 v. H. enthalten. Die Bruchfläche zeigt sehr feines Korn von mattem Glanze. In gehärtetem Zustande wird die Fähigkeit vermindert. Wiederholte Feuerbehandlung schadet, da die Schneidhaltigkeit rasch sinkt, die Sprödigkeit und Rißbildung beim Härten zunimmt. Wolframstahl wird meist bei ruhig beanspruchten Werkzeugen, die große Härte und Schneidhaltigkeit besitzen sollen, verwendet.

Chrom.

Durch Chromzusatz soll das gleiche wie mit Wolfram erreicht werden, er macht den Stahl aber viel spröder. Meist ist er in Mengen von 2,5 v. H., auch bis 3 v. H. im Werkzeugstahl enthalten. Er macht den Stahl besonders widerstandsfähig gegen Schlag und Stoß, weshalb Chromstahl für Panzergranaten und in Verbindung mit Nickel für Panzerplatten verwendet wird.

---

[1]) Über Skleroskop s. S. 60.

Digitized by Google

Nickel.

Es erhöht die Festigkeitseigenschaften des Stahles ganz bedeutend, steigert im ungehärteten Zustande dessen Zähigkeit und Härte ganz wesentlich. Durch das Härten wirkt Nickel nicht so günstig, weshalb man Nickelstahl in der Hauptsache für stark beanspruchte Maschinenteile, die sehr leicht und verhältnismäßig schwach gehalten sind, verwendet.

Molybdän.

Die Wirkung ist ähnlich der des Wolframs. Wegen seines hohen Preises wird es selten zugesetzt.

Titan und Vanadium.

Titan gibt besondere Härte, Vanadium besondere Zähigkeit. Hoher Preis und die Schwierigkeit, damit legierte Stahlgattungen herzustellen, hindern die Verwendung.

III. Das Roheisen.

Die Rohstoffe.

Alles technisch verwendete Eisen wird aus Eisenverbindungen, den Eisenerzen, hergestellt. Als solche kommen im wesentlichen in Betracht:

1. Magneteisenstein. Fundorte: Mittel- und Nordschweden, Ural, Nordafrika, Vereinigte Staaten.
2. Roteisenstein. Fundorte: Sieg, Lahn, Dill, Nordspanien, Nordafrika, Insel Elba, Cumberland, Lancashire, am oberen See in Nordamerika.
3. Brauneisenstein, Minette und Rasenerz. Fundorte: Luxemburg, Lothringen, Bayern, Siegerland, an der Lahn, im Taunus und Westerwald.
4. Spateisenstein. Fundorte: Siegerland, Steiermark, Kärnten und Ungarn.

Die erdigen und kieseligen Bestandteile, die in jedem zur Verhüttung kommenden Erzgemische enthalten sind, sowie die Asche der verwendeten Brennstoffe sind durch Beigabe sogenannter Zuschläge in leicht schmelzbare Verbindungen, hier Schlacke genannt, überzuführen. Als Zuschläge wählt man reine Kalksteine, Eisenkalke oder Kalkerze.

Digitized by Google

Die Verhüttung der Erze geschieht im Hochofen. Als Brennstoff verwandte man früher Holzkohle, jetzt allgemein Koks, der aus Steinkohle, Backkohle hergestellt wird.

Zur Verbrennung des Koks im Hochofen ist Luft in außerordentlich großen Mengen erforderlich, die durch Gebläsemaschinen in den Hochofen hineingedrückt wird; die übliche Windpressung ist 0,3 bis 0,5 at. Der Gebläsewind wird in Winderhitzern auf 700° bis 800° C erwärmt, wodurch eine bedeutende Brennstoffersparnis eintritt.

Der Hochofen.

Der Hochofen ist ein sogenannter Schachtofen, dessen Inneres die nebenstehend gezeichnete Profilform besitzt; die einzelnen Teile haben die eingeschriebenen Bezeichnungen. (Fig. 8.)

Die Beschickung, d. h. Erz, Zuschläge und Brennstoffe, wird im obersten Teile des Ofens, der Gicht, aufgegeben, während die geschmolzenen Massen im Gestell abgelassen werden.

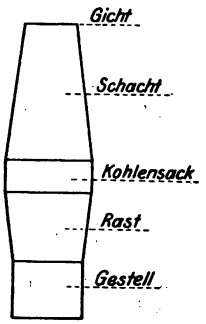


Fig. 8. Hochofenprofil.

Die Wände des Hochofens werden aus feuerfesten Steinen aufgemauert, um die hohen Hitzegrade besser ertragen zu können und den chemischen und physikalischen Einwirkungen der mit ihnen in Berührung kommenden schmelzenden und flüssigen Stoffe zu wiederstehen.

Der Gebläsewind wird im oberen Teile des Gestelles durch die Windformen eingeblasen.

Die Gicht ist durch den Gichtverschluß mit eingebautem Gasfang abgeschlossen, weil die entweichenden Gichtgase ein gutes und billiges Heizmittel bilden. Sie werden zur Beheizung von Dampfkesseln oder nach vorangegangener Reinigung in großen Gasmaschinen zur Erzeugung von Kraft oder elektrischer Energie verwendet.

Die hüttenchemischen Vorgänge im Hochofen.

Der mit einer Geschwindigkeit von etwa 20 bis 30 m/sek durch die Formen eintretende heiße Wind trifft auf glühenden Koks, der sofort zu Kohlensäure verbrennt. Unmittelbar über

Digitized by Google

Roheisenanalysen.

Roheisengattung	Herkunft	Bruchfarbe	Gesamtkohlenstoff in v. H.	Graphit in v. H.	Silizium in v. H.	Mangan in v. H.	Phosphor in v. H.	Schwefel in v. H.
Bessemer-Roheisen . .	Rheinland-Westfalen	grau	3,0 - 4,0	?	1,5 – 2.5	4,0—5,0	0,07 – 0,08	0,01—0,03
Puddel- » . .	»	weiß	2,0 – 2,5	—	0,2—0,5	2.0—2,5	0,3 – 0,7	0.04—0,08
» » . .	Oberschlesien	grau	?	?	1,5 – 2,5	1,5—3,0	0,2—0,6	0,05—0,10
» » . .	»	weiß	?	—	0,5—1,5	1.5—3.0	0.3—0.6	0.05—0,10
Martin- » . .	Rheinland-Westfalen	grau-weiß	3,0—4,0	—	1,3—2,0	1,5—2,5	0,2—0.3	0,03—0,09
» » . .	Oberschlesien	grau	3,0—4,0	?	1,5—2.5	3,0 – 4,5	0,2 – 0,3	0,03—0.05
» » . .	»	weiß	3,0 – 4,0	—	0,8 1,5	3,0—4,5	0,2—0,3	0,04 – 0.05
Stableisen	Siegerland	»	3,0—3,5	—	0,2—0,8	4,0—8,0	0,07—0,09	0,01—0,03
Thomasroheisen						nicht		
Marke Mn.	Rheinland-Westfalen	»	?	—	?	unter 2,0	1,7—1,9	0,10—0,15
» » M. M.	»	»	3,7—3,9	—	0,5—1,0	um 1,5	1,7—1,9	0,10 – 0,15
» » O. M.	»	»	3,2—3,7	—	0.5 – 1,5	unter 1,0	1,0 - 1,8	0,10—0,15
» » Mn.	Lothr.-Luxemburg	»	2.8—3,4	—	0,4—0.8	unter 1.5	1,7 – 1,8	0,04—0,07
» » O. M.	»	»	2,8—3,4	—	0,4—0,8	0,3—0,4	1,7—1,8	0.08 – 0,15
Spiegeleisen	Siegerland	»	4,0—5,0	—	0,3—0,5	6,0—25	0,06—0,1	0,01—0,02
Ferromangan	Rheinland-Westfalen	»	6,0—7.5	—	1,3—0,2	60—80	0,3—0,4	0,01—0,02
Ferrosilizium	»	grau	3,0—1,0	?	8—10	0,6—1,0	0,07	0,01 - 0,02

Digitized by Google

der Formebene bildet sich aus dieser infolge der Anwesenheit der großen Koksmengen Kohlenoxyd. Auf dem Wege zur Gicht geben die gasförmigen Körper ihre Wärmemenge an die von ihnen umspülten festen Stoffe ab, diese erhitzend, sich selbst aber abkühlend.

Das Kohlenoxyd nimmt bei Temperaturen von 1000° bis etwa 300° C abwärts mit Begierde den Sauerstoff der Eisenerze auf, verbrennt also zu Kohlensäure, die Erze werden reduziert. Nun findet auch eine Zerlegung des Kohlenoxydes in Kohlensäure und Kohlenstoff statt, der sich in sehr fein verteiltem Zustande auf dem metallischen, schwammförmigen und noch mit den erdigen Bestandteilen der Erze vermengten Eisen ausscheidet und von diesem allmählich aufgenommen wird; das Eisen wird gekohlt, man hat nunmehr eine Eisenkohlenstofflegierung von niedrigem Schmelzpunkte, etwa 1100° bis 1200° C.

Das Schmelzen dieses Eisens, die Bildung und Verflüssigung der Schlacke vollzieht sich etwa in der unteren Hälfte der Rast und den obersten Teilen des Gestelles.

Das flüssige Eisen sammelt sich im Gestelle an, die leichtere Schlacke schwimmt obenauf; ersteres wird durch das Stichloch von Zeit zu Zeit abgelassen, letztere fließt dauernd ab.

Die Erzeugnisse des Hochofens.

Man erhält:

I. **Roheisen,** und zwar je nachdem wie der Kohlenstoff darin vorkommt:
   a) Graues Roheisen, das durch Aufnahme größerer Mengen Silizium den Kohlenstoff aus seiner Verbindung mit Eisen heraustreibt und die Graphitbildung befördert, doch spielt auch die Zeitdauer der Abkühlung eine große Rolle.
   b) Weißes Roheisen, das einen größeren Mangangehalt aufweist, der die Einwirkung des Siliziums aufhebt, so daß es den gesamten Kohlenstoff in chemischer Bindung enthält (siehe auch die Tabelle auf Seite 16).

II. **Hochofenschlacke,** die verarbeitet wird zu Bausteinen, Schlackensteinen und Zementen verschiedener Art.

III. **Gichtgase,** deren Verwendung schon weiter oben erwähnt wurde.

Digitized by Google

IV. Darstellung des schmiedbaren Eisens.

Beim Niedergange der Erze im Hochofen und Verschmelzen zu Roheisen ist es erklärlich, daß dieses außer Kohlenstoff noch eine Menge anderer Elemente im geschmolzenen Zustande aufnimmt, die, mit einen wesentlichen Bestandteil bildend, im Roheisen bleiben. Es sind dies Silizium, Mangan, Phosphor, geringere Anteile Schwefel u. a. Die Umwandlung in schmiedbares Eisen besteht nun im wesentlichen in der Entfernung dieser Nebenbestandteile durch Verbindung mit Sauerstoff (Oxydation); teils entweichen sie als Gase (Kohlenoxyd CO, schwefelige Säure SO_2) teils bilden sie eine Schlacke. Man nennt diesen Vorgang »Frischen«.

Wird bei der Darstellung schmiedbaren Eisens dessen Schmelzpunkt nicht überschritten, so erhält man es als festen Körper in Gestalt von kleinen Kristallen, die bald zu Klumpen zusammenschweißen. Dieses Eisen nennt man daher Schweißeisen.

Wird die Schmelztemperatur überschritten, so daß dieses Eisen in flüssigem Zustande gewonnen wird, so heißt es Flußeisen.

Das Herdfrischen.

Das älteste Verfahren ist das Herdfrischen, bei dem das Roheisen in einem Holzkohlenfeuer niedergeschmolzen wird, wobei das abschmelzende Metall durch einen die Verbrennung unterhaltenden Windstrom tropft. Die Nebenbestandteile Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor und Schwefel verbinden sich leichter mit Sauerstoff als das Eisen. Jeder Einsatz enthält nach dem Niederschmelzen weniger davon und man erhält immer reineres Eisen. Das Verfahren wird im Frischherde oder Frischfeuer durchgeführt.

Da die Anwendung eines reinen Brennstoffes wie Holzkohle Vorbedingung ist, findet es nur in sehr holzreichen Gegenden wie Schweden, Steiermark und Bosnien Anwendung. Die erzeugbare Menge Schmiedeeisen ist gering, deshalb wird es nur noch für besondere Eisensorten angewendet, z. B. schwedisches Eisen zur Erzeugung von Zementstahl, des steirischen Rohstahles u. dergl. m.

Digitized by Google

Das Produkt heißt Lancashire-Eisen. Es dient als Einsatz zur Erzeugung von Tiegelstahl.

Das Puddeln oder Flammofenfrischen. (Fig. 9.)

Der Mangel an Holzkohlen und die Unmöglichkeit, sie beim Herdfrischen durch Steinkohlen oder Koks zu ersetzen, führte zur Erfindung des Puddelns. Hier kommt nur die Flamme, nicht der Brennstoff, mit dem schmelzenden Eisen in Berührung.

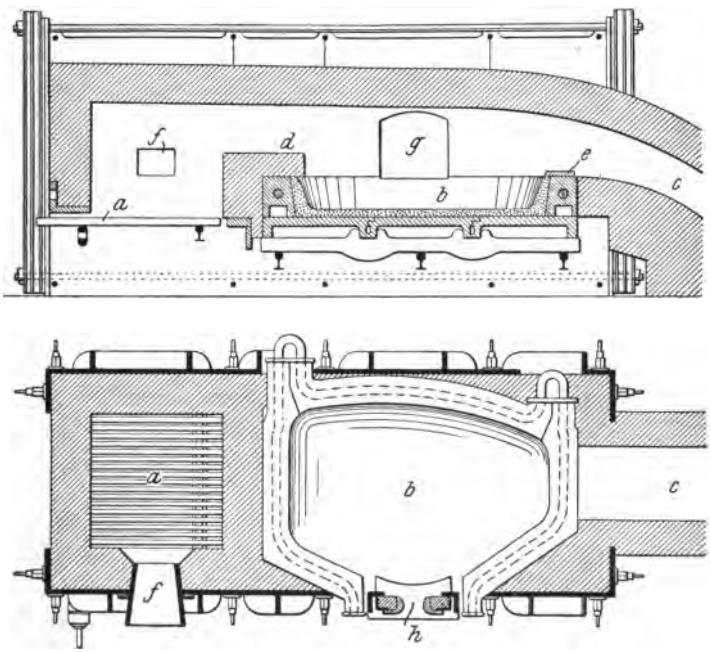


Fig. 9. Puddelofen.
(Aus Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens.)

Der Ofen wird auf helle Glühhitze gebracht, der Einsatz, etwa 300 kg Roheisen, schmilzt binnen 35 Minuten. Während dieser Zeit wirken die an Sauerstoff und Kohlensäure reichen Feuergase oxydierend auf das Eisen ein und verbrennen vorwiegend das darin enthaltene Silizium. Da das abschmelzende Eisen sofort von der Schlacke bedeckt und der weiteren Einwirkung der Feuergase entzogen wird, so muß der Puddler

Digitized by Google

durch Rühren mit dem Haken das Eisen mit den Feuergasen in Berührung bringen. Es wird dabei der Rest Silizium und nun auch Mangan und Eisen in größeren Mengen oxydiert, und zwar teils durch den Sauerstoff der Feuergase, teils durch den Sauerstoff des Eisenoxyduls der Schlacke sowie durch Einwerfen von Garschlacke und Hammerschlag. Nun bemerkt man, wie aus der Schlacke Gasblasen aufsteigen, die mit blauer Flamme verbrennen: es ist Kohlenoxyd, d. h. der Kohlenstoff wird jetzt oxydiert. Die Gasentwicklung wird immer lebhafter, das ganze Bad kocht. Je weiter die Entkohlung fortschreitet, desto strengflüssiger wird das Eisen und die Ofenhitze reicht nicht mehr aus, das Bad flüssig zu halten, das Metall beginnt zu erstarren. Nun wird durch Steigerung der Temperatur im Ofen erreicht, daß sich einzelne Eisenkriställchen abscheiden, sie heben sich wie glänzende Punkte von der dunkleren Schlacke ab. Diese Kriställchen schweißen zu Klumpen zusammen, wodurch weiteres Rühren unmöglich wird. Das Roheisen ist jetzt in schmiedbares Eisen verwandelt, aber noch nicht gleichmäßig genug entkohlt. Diese Gleichmäßigkeit des Kohlenstoffgehaltes erzielt der Puddler durch das »Aufbrechen und Umsetzen«. Er vertauscht den Rührhaken mit einer starken Brechstange, der »Spitze«, mit welcher er die erstarrte Masse in einzelne Klumpen losbricht, umwendet und aufeinanderhäuft; wenn nötig, wird diese Arbeit wiederholt. Dann schreitet er zum Luppenmachen, d. h. er teilt den großen Eisenballen in vier bis sechs Stücke, rollt sie auf dem Herde hin und her, um ihnen annähernd Kugelgestalt zu geben und die umliegenden kleinen Eisenmassen mit ihnen zusammenzuschweißen. Durch Steigerung der Ofentemperatur wird die das schwammige Eisen durchsetzende Schlacke zum Fließen und Ausscheiden gebracht. Nun werden die Luppen einzeln unter dem Dampfhammer fester zusammengeschweißt, wodurch der größte Teil der noch darin enthaltenen Schlacke ausgepreßt wird, endlich im Walzwerk zu »Rohschienen« ausgewalzt.

Beim Puddeln auf Stahl oder Feinkorn wird graues Roheisen allein oder im Gemenge mit manganreichem, hochstrahligem und Spiegeleisen verwendet, weil eine kieselsäure- und manganreiche Schlacke die Entkohlung verlangsamt, also die Entfernung des schädlichen Schwefel begünstigt.

Digitized by Google

Das Bessemer- und Thomasverfahren. (Fig. 10.)

Das flüssige Roheisen kann hierbei für jede Hitze unmittelbar dem Hochofen oder einem Kupelofen, in dem es eingeschmolzen ist, entnommen werden. Seit einer Reihe von Jahren sammelt man das flüssige Roheisen in Mengen von 250 bis zu 1000 Tonnen in einem großen, kippbaren Behälter,

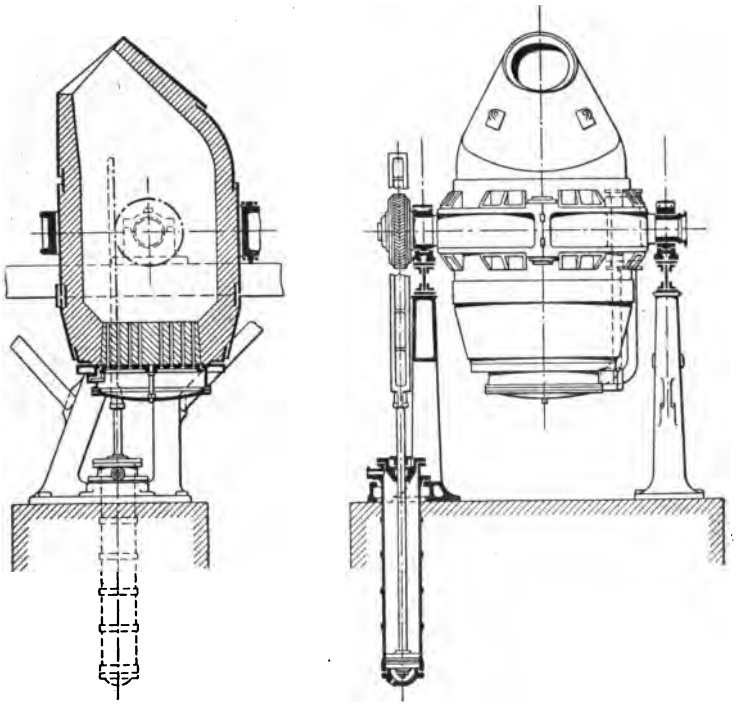


Fig. 10. Bessemerbirne. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

dem Roheisenmischer (Fig. 11a, 11b und 11c), und gibt es von dort nach Bedarf an das Bessemerwerk ab. Man erzielt dadurch außer der guten Durchmischung der verschiedenen Roheisenabstiche gleichzeitig eine beträchtliche Verminderung des Schwefelgehaltes, da sich während des ruhigen Stehens im Mischer eine schwefel- und manganreiche Schlacke abscheidet.

Der zur Durchführung des Bessemerns benutzte Apparat hat die Gestalt einer Birne, heißt daher auch Bessemer-

Digitized by Google

birne. Von der in ihm vorgehenden Umwandlung des Roheisens in schmiedbares Eisen führt er den Namen Konverter. Seine Einrichtung zeigt die Figur 10. Die Birne ist so gebaut, daß im liegenden Zustande das eingegossene Roheisen den Boden, der Öffnungen (Winddüsen) zum Durchblasen des Gebläsewindes enthält, nicht berührt. Einsatz: tunlichst phosphorreines Roheisen.

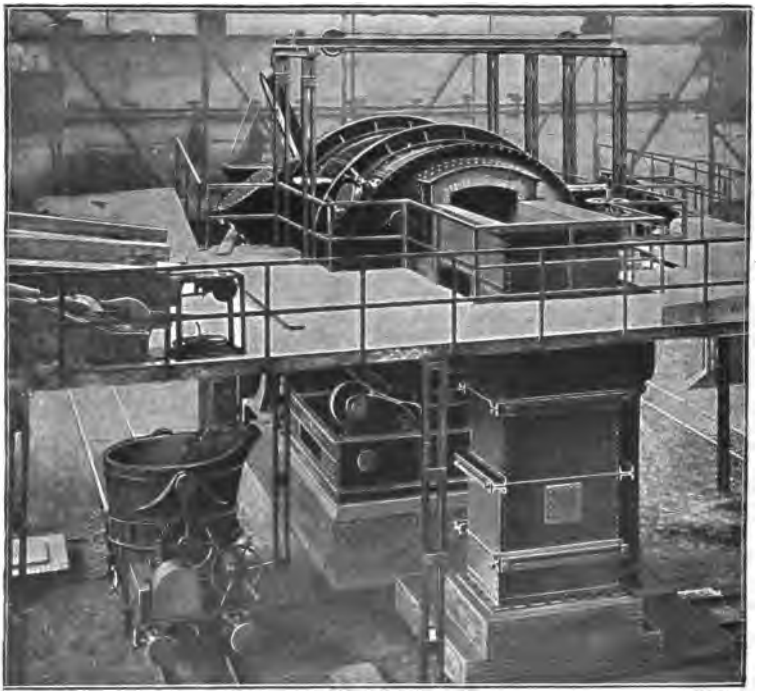


Fig. 11a. Heizbarer Roheisen-Rollmischer.

Das Füllen der Birne geschieht mittels einer auf einem Wagen befindlichen oder durch einen Kran herangeführten kippbaren Pfanne, die in die horizontal gelegte Birne entleert wird. Nach dem Einfüllen wird der Gebläsewind angelassen und die Birne dann langsam aufgerichtet. Die das Bad durchströmenden Windstrahlen wirken sofort auf die einzelnen Bestandteile des flüssigen Metalles oxydierend ein und verbrennen zunächst

Digitized by Google

Silizium und Mangan, wodurch die Temperatur rasch steigt. In wenigen Minuten ist dies geschehen und es beginnt nun eine lebhafte Verbrennung des Kohlenstoffes zu Kohlensäure durch die massenhafte Entwicklung von Kohlenoxydgas. In

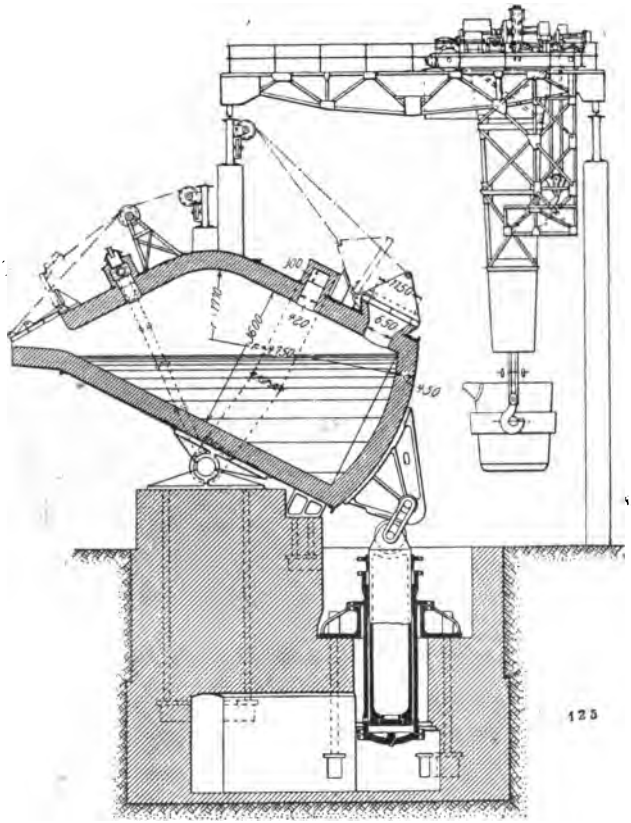


Fig. 11 b. Kippbarer Roheisenmischer.

10 Minuten ist auch der Kohlenstoff abgeschieden, der Frischprozeß ist beendet.

Nach beendigtem Frischen wird die Birne wieder in die wagerechte Lage gekippt und der Wind abgestellt. Nachdem man sich noch durch eine Schöpf- bzw. Schmiedeprobe von der Erreichung des gewünschten Entkohlungsgrades überzeugt

Digitized by Google

hat, setzt man dem Bade eine dem Härtegrade des zu erzeugenden Stahles entsprechende Menge flüssigen mangan- und kohlenstoffreichen Spiegeleisens oder vorgewärmten Ferromangans zu. Neuerdings schmilzt man das zuzusetzende Ferromangan im elektrischen Ofen um und gibt es in flüssigem Zustande zu. Man will auf diese Weise eine schnellere und bessere Durchmischung des Ferromangans mit dem Bade erreichen. Zur Beförderung der Gleichmäßigkeit der Mischung bläst man auf einigen Werken nach dem Zusatze für einige Sekunden

Fig. 11c. Eingießen von Roheisen in einen Kippmischer.
(Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

nach; darauf folgt das Ausgießen in die bereitstehende Gießpfanne, aus der die Verteilung des Stahles in gußeiserne Gußformen, Kokillen, stattfindet.

Ist der Block in der Kokille erkaltet, wird diese durch die Stripperzange vom Block abgestreift und ist zu weiterer Verwendung bereit. Fig. 12.

Die Blöcke werden zur gleichmäßigen Durchwärmung in Tieföfen eingesetzt, von wo sie zur weiteren Verarbeitung ins Walzwerk gelangen.

Digitized by Google

Das Bessemerflußeisen wird für gröbere Werkzeuge, Federn, Bleche, Schienen u. dgl. m. verwandt.

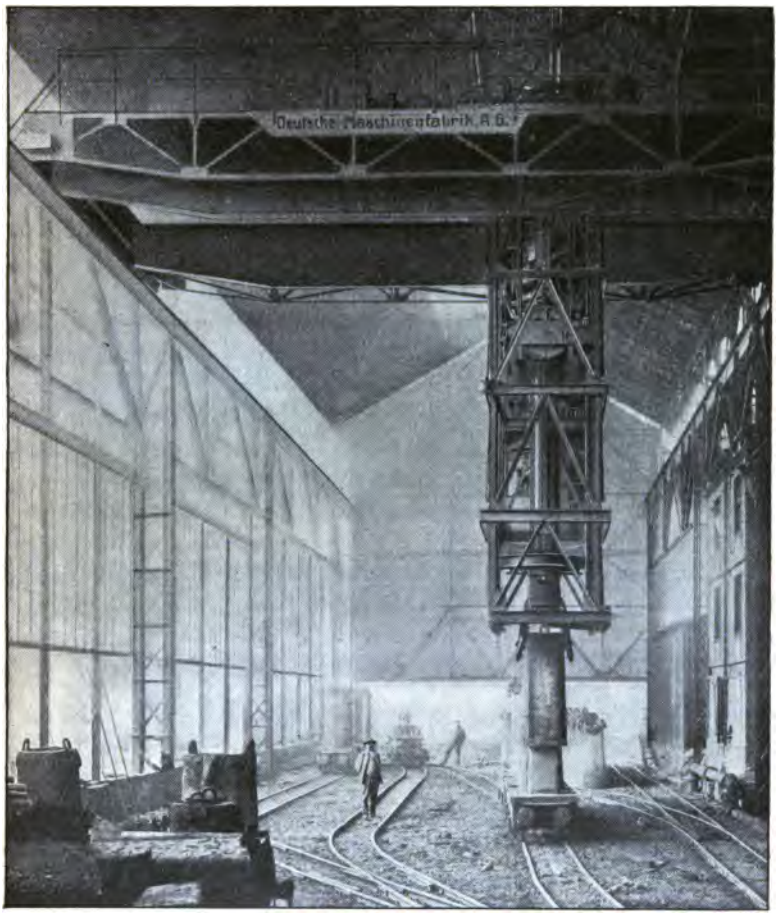


Fig. 12. Stripperzange beim Abstreifen der Kokille vom Block.

Wie wir eben erfahren haben, kann beim Bessemern der doch leicht verbrennende Phosphor nicht entfernt werden, und zwar aus dem Grunde, weil die Bessemerbirne mit einem kieselsäurereichen Futter ausgekleidet ist. Denn eine eisen-

Digitized by Google

oxydreiche Ausmauerung, wie sie sich im Puddelofen gut bewährt hatte, wäre in der bei der Flußstahlerzeugung entstehenden höheren Temperatur nicht mehr haltbar. Für die Abscheidung des Phosphors aus dem Eisen ist eine basische Schlacke aber unbedingt erforderlich, damit die bei der Verbrennung entstehende Phosphorsäure durch die in der Schlacke enthaltenen Basen gebunden werden kann.

Ein widerstandsfähiger und genügend feuerfester Baustoff von geeigneter Zusammensetzung wurde erst im Jahre 1878 von Thomas und Gilchrist in dem Dolomit gefunden.

Dieser bis zum Sintern gebrannt, wodurch die darin enthaltene Kohlensäure ausgetrieben wird und er zugleich große Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse erhält, wird in Kollergängen, Glockenmühlen, gemahlen, mit erhitztem wasserfreiem Teer gemischt, um ihn bildsam zu machen, unter hohem Druck zu Steinen geformt, mit denen der Konverter innen ausgemauert wird, während der Konverterboden, den man für sich einsetzt, auf einer besonderen Stampfmaschine unter Freihalten der Düsenlöcher aufgestampft wird. Durch nachträgliches Brennen werden die flüchtigen Bestandteile des Teeres ausgetrieben, während Kohlenstoff als ein die Dolomitteilchen verbindender Kitt zurückbleibt. In einer so ausgefütterten Birne kann durch Zusetzen gebrannten Kalkes eine so stark basische Schlacke erzeugt werden, daß die Ausscheidung des zu Phosphorsäure verbrannten Phosphors keine Schwierigkeiten mehr bietet.

Einsatz: Siliziumarmes, weißes Roheisen (0,2 ÷ 0,5 v. H. Si) 3 ÷ 3,5 v. H. C, 1 ÷ 2 v. H. Mn, 1,8 ÷ 2,5 v. H. P.

Durch Verbrennung von 1 v. H. Phosphor beträgt die Temperatursteigerung etwa 120° C, und da dies erst am Schlusse des Prozesses geschieht, erhält das Bad dann die größte Hitze, wenn durch die Entstehung des schmiedbaren Eisens auch die höchste Temperatur nötig ist.

Silizium und Mangan verbrennt wie beim Bessemerverfahren, dann der Kohlenstoff, endlich der Phosphor.

Die Beendigung des Prozesses erkennt man leicht am Aussehen der aus der Birne herausschlagenden Flamme. Durch Schöpf- und Schmiedeproben nach dem Nachblasen überzeugt man sich von der Beendigung der Entphosphorung. Fällt sie

Digitized by Google

befriedigend aus, wird die Schlacke abgegossen, dann erfolgt der Zusatz von Ferromangan oder Spiegeleisen zur Rückkohlung.

Erzeugnisse: Schienen, Brücken- und Eisenbahnbaumaterial, Bauwerkseisen, Bleche usw. Thomaschlacke als Düngemittel.

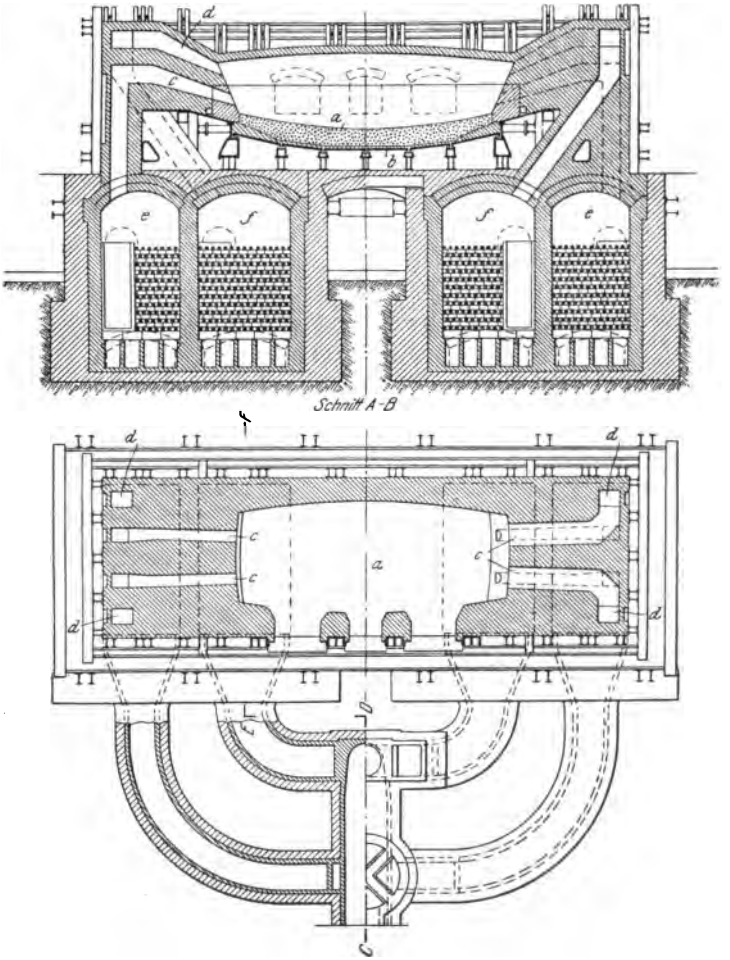


Fig. 13. Siemens-Martin-Ofen im Längsschnitt.
(Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

Digitized by Google

Das Siemens-Martin- oder Herdfrischverfahren. (Fig. 13 u. 13a.)

Hier erfolgt die Darstellung des schmiedbaren Eisens auf dem Herde eines Flammofens, der, in gleicher Weise wie beim Windfrischverfahren, mit saurer Masse (Quarz) oder basischer Masse (Dolomit) ausgekleidet werden kann. Die basische »Zustellung« wird weitaus am meisten angewandt wegen der Möglichkeit, auf dem basischen Herde den Phosphor aus dem

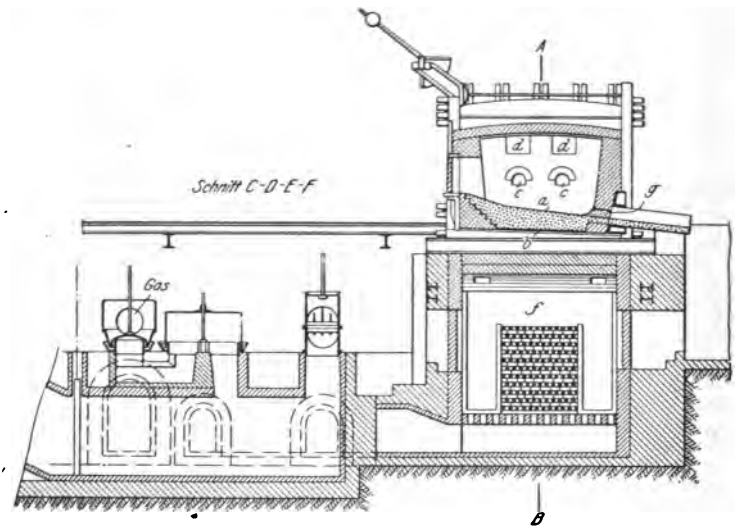


Fig. 13a. Siemens-Martin-Ofen im Querschnitt.
(Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

Bade abschneiden zu können. Den sauer zugestellten Martinofen benutzt man fast nur noch zur Formgußdarstellung oder zur Erzeugung von Stahl.

In den feststehenden Martinöfen verarbeitet man Einsätze bis zu 50 t, zur Bewältigung größerer Einsätze, bis zu 300 t, haben Öfen mit beweglichem Herde, sogenannte Kippöfen, Verwendung gefunden.

Anfangs benutzte man das Verfahren zur Verwertung der Abfallstücke (Schrott), indem diese unter Zusatz von Roheisen eingeschmolzen wurden. Allmählich hat es sich zu einem

Digitized by Google

selbständigen Frischverfahren entwickelt und dadurch große Bedeutung erlangt.

Die Versuche der Brüder Emil und Pierre Martin, durch Zusammenschmelzen von Roheisen und wenig Kohlenstoff enthaltendem Schmiedeeisen (Schrott) Flußeisen bzw. Flußstahl im Flammofen zu erzeugen, hatten erst dann ein befriedigendes Ergebnis, als durch Einführung der Gasfeuerung und Wiedergewinnung der Abgashitze in Wärmespeichern im Flammofen eine bedeutend höhere Temperatur als vorher erreicht werden konnte.

Das benutzte Gas, hergestellt in besonderen Gaserzeugern, Generatoren, ist vorwiegend Kohlenoxyd, das mit Luft gemischt unter großer Wärmeentwicklung verbrennt. Eine weitere Temperatursteigerung erzielt man durch Vorwärmung der Heizgase und der Verbrennungsluft, indem man die aus dem Ofen strömenden, noch sehr heißen Verbrennungsgase durch Kammern (Wärmespeicher oder Regeneratoren) mit gitterförmiger Steinfüllung leitet, wodurch dieses Gitterwerk auf helle Glühhitze gebracht wird; die so in ihm aufgespeicherte Wärmemenge wird dann wieder an das jetzt durch dieselben Kammern geführte Heizgas und an die Verbrennungsluft abgegeben.

Zum Einsetzen der Beschickung benutzt man jetzt fast allgemein eine Chargiermaschine; sie nimmt die einzelnen Beschickungsmaterialien in Mulden auf, hebt diese in den Ofen und entleert sie dort durch Drehen.

Den Vorgang des Einbringens der Beschickung in den Ofen veranschaulicht Fig. 14. Die gefüllte Mulde befindet sich zur Beschickung bereit vor einer der drei Ofenöffnungen.

Die im Martinofen sich abspielenden Prozesse beruhen auf einem Frischvorgang, indem der in den Gasen enthaltene Sauerstoff mit Hilfe der sich bildenden Schlacke auf die Fremdkörper des Eisens oxydierend einwirkt.

Schrottschmelzverfahren. Zunächst wird das Roheisen in Mengen von etwa 5 bis 30 v. H. des ganzen Einsatzes, unter gleichzeitigem Einbringen des erforderlichen Kalkzuschlages zum Abscheiden von Phosphor, Silizium und Schwefel eingeschmolzen; dann werden Flußeisenabfälle (Schrott) auf einmal oder in mehreren Pausen zugesetzt. Der Verlauf des Schmelzvorganges erstreckt sich im wesentlichen auf eine allmählich fortschreitende

Digitized by Google

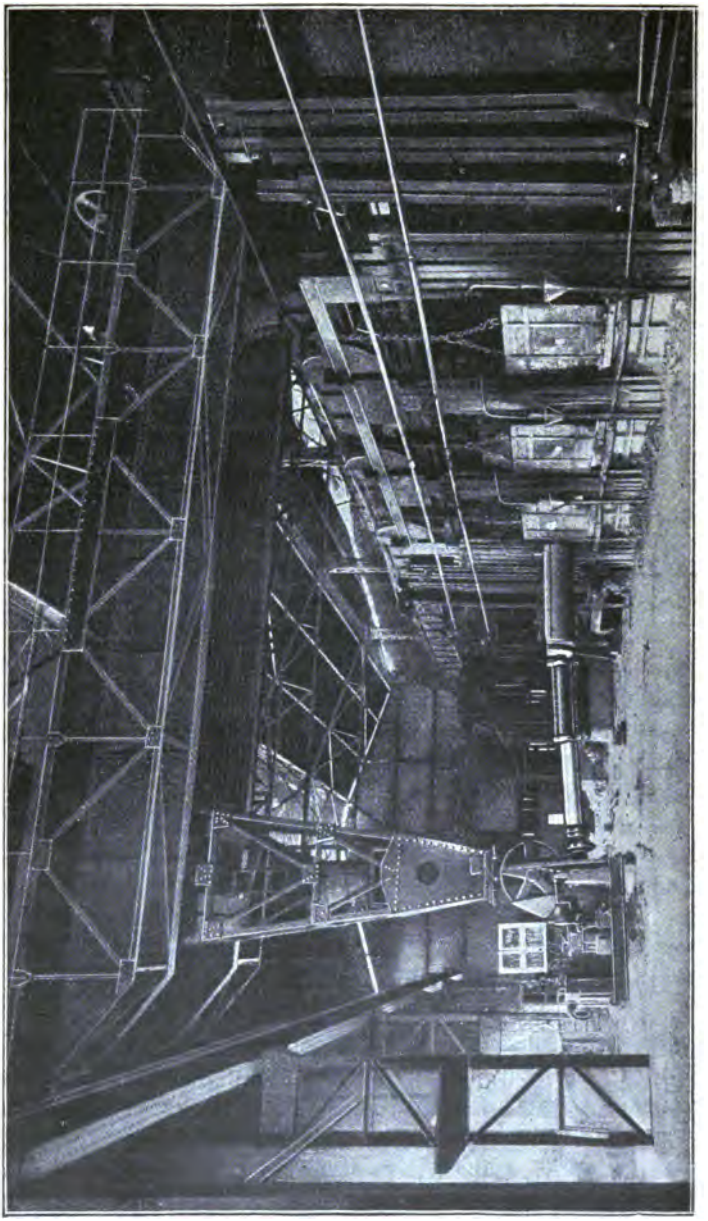


Fig. 14. Chargierbühne mit Chargierkran. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

Digitized by Google

Verbrennung des Kohlenstoffes, Siliziums, Mangans und Phosphors. Zur Beschleunigung der Entkohlung wirft man zuweilen kleine Mengen Erz (auch Hammerschlag und Sinter) in das Bad.

Silizium ist schon nach beendigtem Einschmelzen fast völlig abgeschieden; Mangan wird zwar rasch oxydiert, aber die basische Schlacke verzögert die völlige Verbrennung, so daß gegen Ende des Einschmelzens etwa 0,2 v. H. Mangan im Metallbade enthalten sind; Phosphor verbrennt auch teilweise während des Einschmelzens, bei höherem Gehalte wird er aber erst bei starker Kohlenstoff-Abnahme abgeschieden.

Je weiter die Entkohlung fortschreitet, desto höher steigt die Schmelztemperatur im Ofen. Ist der Frischprozeß genügend weit fortgeschritten, was durch Schöpf-, Schmiede- und Bruchproben festgestellt wird, so folgt, wie beim Thomasverfahren, ein Zusatz von Ferromangan oder Spiegeleisen zur Desoxydation bzw. mehr oder weniger starker Rückkohlung. Man erhält so weichstes Flußeisen oder Stahl. Durch Zusatz anderer Metalle: Nickel, Chrom u. a. kann man die entsprechenden Sonderstahlsorten herstellen.

Nach Beendigung des Prozesses wird der Ofeninhalt in die davor gebrachte Gießpfanne abgelassen.

Kombiniertes Bessemer- und Martinverfahren, sog. Duplexprozeß: Zuerst in Witkowitz ausgebildet, ist es dort von Vorteil, wo ein Roheisen verarbeitet werden muß, das für das Thomasverfahren zu arm an Phosphor und zu reich an Silizium ist, andererseits aber zu viel Phosphor für den Bessemerprozeß enthält. Das Roheisen wird in der sauren Birne zunächst vorgefrischt, wobei Silizium abgeschieden wird; im basischen Martinofen erfolgt das Fertigfrischen.

Roheisenerzverfahren. Der Einsatz besteht aus Roheisen und Erz, das mit dem Kalk in mehreren Einsätzen zugeschlagen wird. Die im Roheisen befindlichen Fremdkörper werden durch die Oxydationswirkung der Heizflamme und dem Sauerstoff der zugeschlagenen Erze rasch abgeschieden. Als Erze verwendet man Rot- oder Magneteisenstein, Walzensinter usw.

Bertrand-Thiel-Prozeß: Benutzt werden zwei Martinöfen mit basischem Herd. Der eine dient zum Vorfrischen, wobei die Hauptmenge des Phosphors abgeschieden wird, der zweite zum

Digitized by Google

Fertigfrischen, nachdem vorher die zuerst entstandene Schlacke abgelassen und ein erneuter Erzzusatz gegeben worden ist.

Hoesch-Verfahren: Es arbeitet nach demselben Grundsatze. Die Zweiteilung des Verfahrens wird aber in nur einem Ofen vorgenommen. Der Martinofen wird mit Kalk und Erz beschickt, flüssiges Roheisen mit oder ohne Schrottzusatz eingelassen und dann zuerst vorgefrischt, wobei Silizium vollständig, Phosphor und Mangan bis auf einige Zehntel v. H. abgeschieden werden. Der ganze Ofeninhalt wird in eine Pfanne abgelassen, die Schlacke hier abgegossen und das schlackenfreie Metall in demselben Ofen unter Zusatz von Erz, Kalk und Schrott fertiggefrischt. Die Entkohlung erfolgt sehr rasch, Phosphor wird in kurzer Zeit bis auf Spuren beseitigt.

Talbot-Verfahren: Hauptsächlich in Amerika und England verbreitet und im kippbaren Martinofen durchgeführt.

Darstellung des Zement-, Raffinier- und Tiegelstahles.

Alle bisherigen Verfahren zur Stahlerzeugung gehen vom Roheisen aus. Seit Jahrhunderten wurde auch der entgegengesetzte Weg eingeschlagen und weiches, reines Schmiedeeisen durch Zuführung von Kohlenstoff in Stahl verwandelt. Man nennt dies »Zementieren«. Der so gewonnene Zementstahl eignet sich besonders zur Bereitung eines guten Tiegelstahles.

Der Vorgang ist folgender: Flache Schweißeisenstäbe, 10 bis 20 mm dick, 50 bis 100 mm breit, packt man in große, bis 8 oder 12 t Eisen fassende, gemauerte Kisten zwischen zerkleinerte, Holzkohle und glüht das Ganze bei etwa 1000° C 7 bis 12 Tage lang, worauf man die Kisten während 5 bis 7 Tagen langsam abkühlen läßt. Dabei wandert der Kohlenstoff aus der Holzkohle in das Eisen bis ins Innerste der Stäbe. Die Menge des aufgenommenen Kohlenstoffes ist von der Höhe der Temperatur, der Dauer des Glühens und der Dicke der zu zementierenden Stücke abhängig. Das Erzeugnis hat dadurch einen Kohlenstoff-Gehalt von 0,8 bis 1,5 v. H., ist auf dem Bruche grau und grobblättrig, auf der Oberfläche blasig (Blasenstahl). Diese Blasen rühren von der Reduktion der Eisenoxyde her, die den Hauptbestandteil der in jedem Schweißeisen eingelagerten Schlacke bilden. Zementstahl enthält noch Schlackeneinschlüsse, auch ist der Kohlenstoff-Gehalt nicht in allen Teilen gleich-

Digitized by Google

mäßig hoch, erfordert also einen Ausgleich. Beides kann man erreichen entweder

a) durch Zusammenschweißen mehrerer Rohstäbe oder

b) durch Umschmelzen.

Ersteres, das ältere Verfahren, heißt Gärben und wird bei Schweißstahl angewandt; für Flußstahl ist letzteres in Aufnahme gekommen (Tiegelstahldarstellung).

a) Gärbstahl oder Raffinierstahl. Die zu Paketen vereinigten Rohstäbe werden auf Schweißtemperatur erhitzt und unter mehrfachem Hämmern, Walzen oder Pressen bearbeitet. Die infolge der hohen Temperatur zum Fließen gebrachte Schlacke wird dabei herausgequetscht.

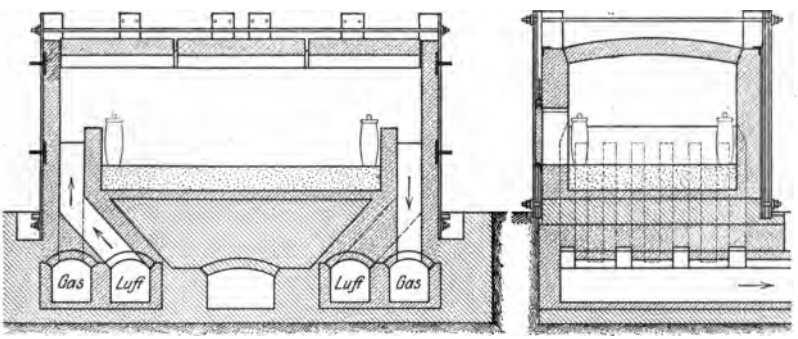


Fig. 15. Tiegelofen.

b) Tiegelstahl. (Fig. 15.) Zum Umschmelzen benutzt man Tiegel aus feuerfestem Ton mit Graphitzusatz.

Die Schmelzöfen werden mit Gasfeuerung unter Wiedergewinnung der Abgaswärme in Regenerativkammern betrieben. 20 bis 100 Tiegel werden gleichzeitig eingesetzt und nach dem fertigen Schmelzen mittels langer Zangen aus dem Ofen geholt und in die Gußform oder Kokille entleert.

Die Qualität des Tiegelstahles ist ganz vorzüglich, seine Darstellung aber kostspieliger als jede andere. Zur Verbesserung seiner Festigkeitseigenschaften und Schneidfähigkeit setzt man dem Tiegelstahl noch andere Metalle zu wie Wolfram, Chrom, Nickel, Molybdän, Vanadium usw., und zwar in verhältnismäßig kleinen Mengen.

Digitized by Google

Nach ½ 1 1½ 2 2½ 3 4 Stunde
Schmelzdauer

Fig. 15a. Zustand des Schmelzgutes im Tiegel an der Luft erkaltet.

In Fig. 15a ist ein Tiegel im Längsschnitt abgebildet. Die Veränderung des Tiegelinhaltes entsprechend der Schmelzdauer ist deutlich erkennbar.

Zur Herstellung einer Raumeinheit
Tiegelgußstahl in der Grösse 1
sind erforderlich:
Erz ..... Volumen 2
mineralische Kohle .. Volumen 3
Holzkohle ..... Volumen 4

Fig. 15b.

Die zur Herstellung einer Raum- oder Volumeneinheit Tiegelgußstahl erforderliche Menge Rohstoffe zeigt Fig. 15b.

Stahlerzeugung im elektrischen Ofen.

Zur Durchführung dieses Schmelzprozesses kommen, je nach der Art der Umsetzung der elektrischen Energie in Wärme, drei Gruppen in Betracht:

Lichtbogen-, Widerstands- und Induktionsöfen.

a) **Lichtbogenöfen:** Der Ofen von Stassano. Der Ofenraum

Digitized by Google

ist allseitig geschlossen, von runder oder ovaler Form. Die Kohlenelektroden von 80 bis 100 mm Durchmesser sind ver-

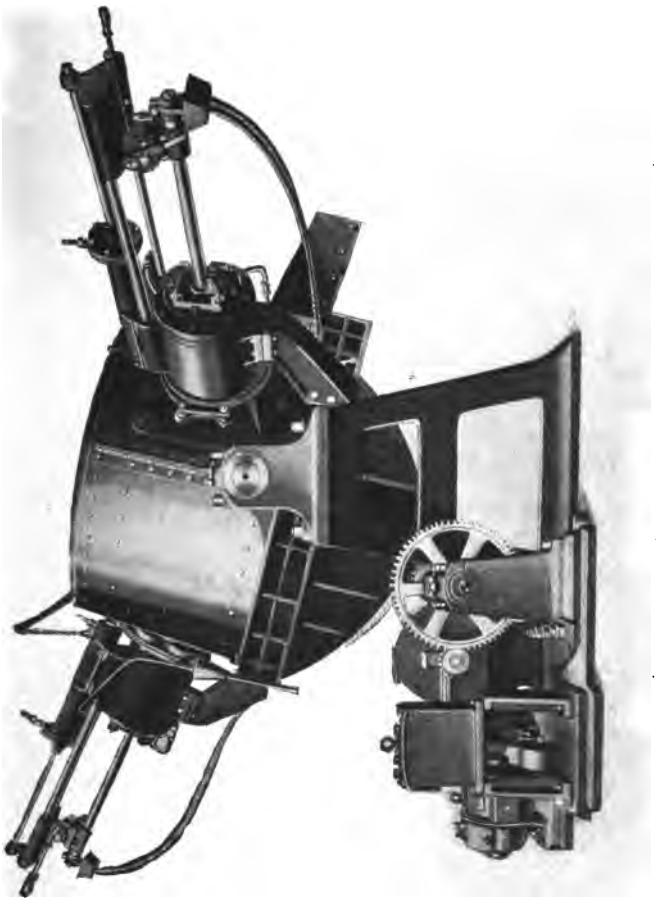


Fig. 16. Strahlungsofen System Mönkemöller (Stassano-Prinzip).

stellbar. Zwischen ihnen entsteht der Lichtbogen, durch dessen strahlende Wärme das Bad und die Ofenwände erhitzt werden. Der Ofen wird kippbar ausgeführt. (Fig. 16 und 17.)

Digitized by Google

Der Ofen von Héroult. In seiner äußeren Form ähnelt er einem kleinen kippbaren Martinofen. Er besitzt bei Wechselstrom 2, bei Drehstrom 3 Kohlenelektroden, die beim 3-t-Ofen

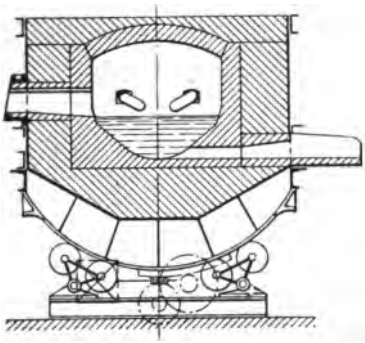


Fig. 17.[1]) Stassano-Ofen.

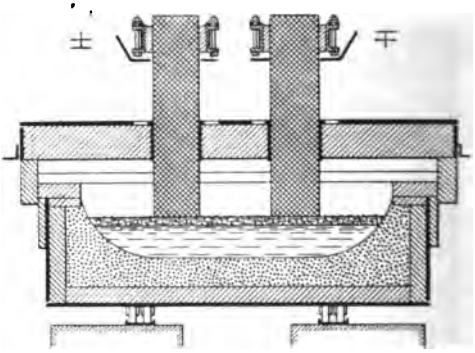


Fig. 18. Ofen von Héroult.

360 × 360 mm stark sind; sie sind durch die Ofendecke hindurchgeführt und werden von Hand oder automatisch so eingestellt, daß sie sich 45 mm über dem Stahlbade befinden. Auf dem Metallbade wird eine dünne Schlackendecke gehalten. Der Strom tritt durch einen Lichtbogen zwischen der einen Elektrode zur Schlackendecke über, strömt durch das Bad hindurch und durch einen zweiten Lichtbogen zur anderen Elektrode zurück. (Fig. 18.)

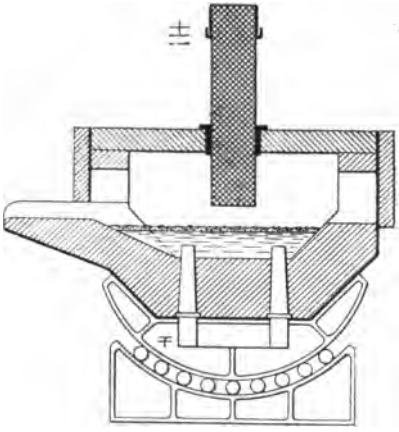


Fig. 19. Ofen von Girod.

b) **Widerstandsöfen:** Der Ofen von Girod. Er arbeitet nur mit einer Kohlenelektrode, die durch das Deckengewölbe in den kippbar eingerichteten Ofen hineinragt. Das Metallbad auf dem basischen

[1]) Fig. 17 bis 21 aus Gemeinfaßliche Darstellung.

Digitized by Google

Herde bildet die zweite Elektrode. Die Stromableitung erfolgt durch 4 bis 16 wassergekühlte Flußeisenelektroden, die durch den Boden des Herdes in das Metallbad hineinragen. Der Strom geht von der Kohlenelektrode durch einen Lichtbogen zur flüssigen Schlacke über und von dort durch das Metallbad zur Stromquelle zurück. (Fig. 19.)

Der Ofen von Keller. Er hat im Prinzip die gleiche Anordnung wie der Girod-Ofen, doch ist hier der Herd leitend gemacht.

c) **Induktionsöfen:** Der Ofen von Kjellin. Den eigentlichen Ofenraum bildet hier eine aus feuerfestem Materiale gebaute kreisförmige Rinne. In der Mitte dieses rinnenförmigen Herdes befindet sich ein senkrecht zur Ofenebene stehender ringartiger Metallkern, der aus starken, voneinander isolierten Eisenblechen zusammengesetzt und in der Mitte von einer Kupferdrahtspule umgeben ist. Fließt durch diese Spule ein Wechselstrom, so wird, wie bei einem gewöhnlichen Transformator, in dem Eisenkerne Magnetismus erregt, der seinerseits wieder in dem als Sekundärkreis wirkenden ringförmigen Metallbade durch Induktion Wechselströme erzeugt, die dann das Metall durch Widerstandserhitzung zum Schmelzen bringen. Der Vorteil dieses Ofensystems beruht darauf, daß die im Innern des Bades entstehende Hitze die Ofenwände schont, von Nachteil ist die geringe Oberfläche der Schmelzrinne; man ist deshalb an reinen, guten Einsatz gebunden, da Schlackenzusätze, die reinigend auf das Bad wirken, nicht möglich sind. (Fig. 20.)

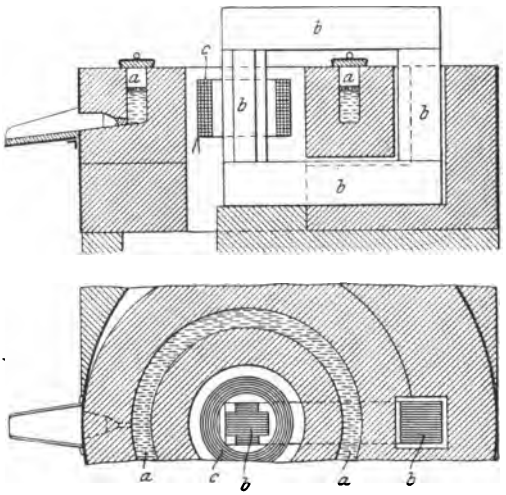


Fig. 20. Ofen von Kjellin.

Digitized by Google

Der Ofen von Röchling-Rodenhauser. Er vermeidet den zuletzt erwähnten Nachteil des Kjellinofens, da er außer der schmalen Heizrinne einen Herdraum mit großer Oberfläche, den sog. Arbeitsherd, besitzt. In diesem wird das Bad durch Widerstandserhitzung geschmolzen, wozu über die Primärspule eine zweite Spule gewickelt ist, deren Enden mit Eisenplatten verbunden, im Ofenmauerwerk so angebracht sind, daß der

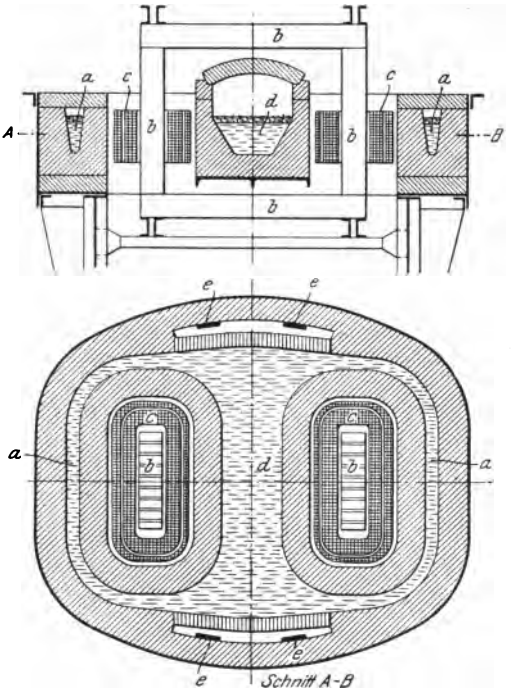


Fig. 21. Ofen von Röchling-Rodenhauser.

Stromfluß durch das Bad des Herdes gehen muß. Die Platten sind durch vorliegendes Mauerwerk, welches bei der hohen Ofentemperatur leitend ist, vor dem Abschmelzen geschützt. Der Ofen arbeitet in der Regel mit Wechselstrom. Der elektrische Strom wirkt bei allen drei Ofenarten nur als Wärmequelle. Durch diese Art der Beheizung erreicht man nicht nur bedeutend höhere Temperaturen, sondern sie zeichnet sich auch durch hohe Reinheit aus. (Fig. 21.)

Digitized by Google

Der Einsatz kann kalt oder warm eingegeben werden; in Deutschland zieht man es jedoch der geringeren Stromkosten wegen vor, das Einsatzmaterial dem Martinofen oder dem Konverter nach dem Frischen, aber vor der Desoxydation, flüssig zu entnehmen und es im Elektrostahlofen nur zu reinigen (raffinieren).

Das Reinigungsverfahren beginnt damit, daß man sofort nach dem Einsatze des Roheisens oxydierende Mittel: Roteisenerz Fe_2O_3 oder Hammerschlag bzw. Walzensinter Fe_3O_4 und gebrannten Kalk CaO zusetzt. Mangan geht in die Schlacke, Phosphor wird oxydiert und geht ebenfalls in die Schlacke über. Nunmehr werden Proben genommen; zeigen diese, daß der Phosphorgehalt genügend niedrig ist, so wird die phosphorhaltige Schlacke abgegossen und neuer Kalk zugegeben. Es beginnt nun die Desoxydation und gleichzeitig die Entschwefelung. Als Desoxydationsmittel fügt man Ferromangan und Ferrosilizium, auch wohl Kalziumkarbid oder Siliziumkarbid im Verein mit Manganerzen zu. Nach der Entschwefelung beginnt die Rückkohlung durch Ferromangan, Spiegeleisen, Holzkohlen- oder Kokspulver auf den gewünschten Kohlungsgrad. Um das Bad frei von Gasen zu erhalten, läßt man es noch einige Zeit stehen, »garen«, damit die Gase entweichen können, dann wird es in die Gießpfanne gegossen. Der ganze Prozeß dauert etwa 3 bis $3^1/_2$ Stunden. Der Stromverbrauch beträgt

bei festem Einsatz für 1 t = 800—900 kWh.
» flüssigem » » 1 t = 150—300 »

Das im elektrischen Ofen erzeugte Material zeichnet sich durch besondere Reinheit aus. Durch Zusatz von Ni, Chr, Wo, Mol, Van können dem Stahl besondere Eigenschaften erteilt werden, wie sie besonders vom Werkzeugstahl, dann auch von hochbeanspruchten Konstruktionsstählen verlangt werden.

V. Weiterverarbeiten des Stahles durch Schmieden, Pressen und Walzen.

Das nach den im vorigen Abschnitte behandelten mannigfachen Verfahren hergestelle schmiedbare Eisen wurde aus dem Schmelzofen in Blockformen, sog. Kokillen, gegossen, erstarrt

Digitized by Google

darin und muß nun durch Schmieden, Pressen oder Walzen zu der jeweiligen Handelsware verarbeitet werden, von der die Stangen- und Flacheisenform für unsere Zwecke am gebräuchlichsten ist. Hand in Hand damit geht gleichzeitig eine Veredelung. Beim Schweißeisen erfolgt eine Reinigung von eingeschlossener Schlacke, bei der Weiterverarbeitung zu Raffinier-

Fig. 22. Hydraulische Schmiedepresse. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

oder Gärbstahl das Zusammenschweißen der Pakete. Beim Flußeisen wird nicht nur das Material dichter, sondern auch Hohlräume, die durch das Entweichen von Gasen im Augenblicke des Erstarrens und durch Abkühlungsvorgänge nicht ganz zu vermeiden sind, zusammengedrückt oder zusammengeschweißt werden. Die schweren Handhämmer oder durch Wasser ge-

Digitized by Google

triebene Stielhämmer genügen für die Weiterverarbeitung der großen Blöcke nicht mehr, an ihre Stelle sind Dampfhämmer und Schmiedepressen getreten.

Dampfhämmer wirken durch Schlag hauptsächlich auf die Oberfläche der Stahlblöcke, ohne das Innere in genügender Weise zu beinflussen. Sie werden zum Ausschmieden der Stahlstangen benutzt; das Bärgewicht ist verschieden groß. Zum

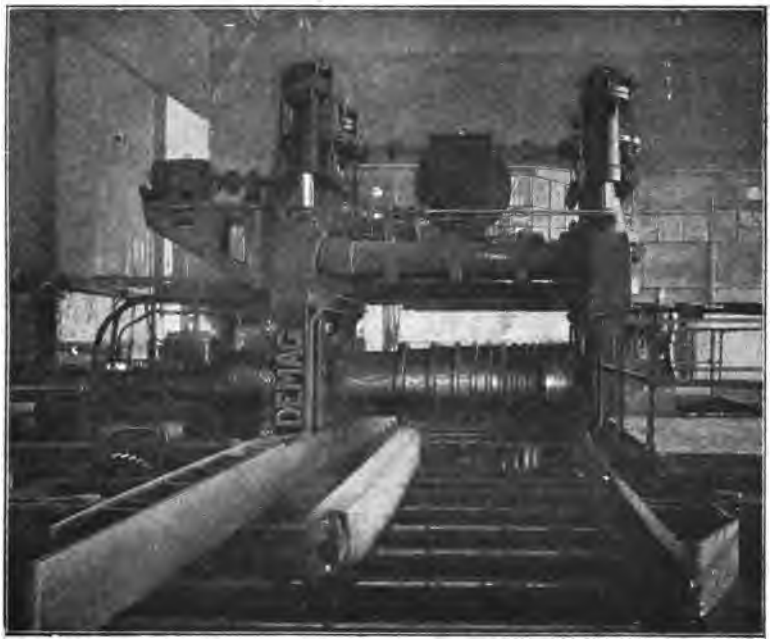


Fig. 23a. Duo-Walzwerke. (Aus Gemeinfaßliche Darstellung.)

Sauberschmieden der Fertigware sind sehr rasch schlagende Hämmer mit breiter Bahn im Gebrauch. Gesenkschmiedestücke, wie Massenartikel, erhalten ihre Formgebung durch Fallhämmer.

Schmiedepressen wirken durch ruhigen, starken Druck vollkommener und nutzen die aufgewendete Arbeit viel günstiger aus als die schweren Dampfhämmer. (Fig. 22.)

Walzwerke wirken durch Streckung des Blockes in seiner Längsrichtung unter Verminderung seines Querschnittes. Das

Digitized by Google

Fig. 23b. Trio-Walzwerk. (Aus gemeinfaßliche Darstellung.)

Material muß wiederholt durch die Walzen geführt werden, bis es die entsprechende Form erhält. Je nach der Anzahl der Walzen hat man Duo- und Triowalzwerke. (Fig. 23a u. 23b.)

Bei ersteren wird, sobald der Block durchgelaufen ist, die Drehrichtung umgekehrt — Umkehr- oder Reversierwalzwerk, letztere laufen ständig mit dem gleichen Drehsinn. Um hierbei den Block zwischen das jeweils entsprechende Walzenpaar zu

Fig. 24. Wärme- oder Schweißöfen mit Bedienungskran.
(Aus gemeinfaßliche Darstellung.)

Digitized by Google

bringen ist der den Walzen zunächst liegende Teil des Rollganges als Hebetisch ausgebildet.

Da nun die Formgebung nicht in einem Zuge erfolgen kann, sind die Blöcke wiederholt zu erhitzen; es geschieht in Wärme- oder Schweißöfen, die sowohl mit Kohlen- wie mit Gasfeuerung geheizt werden. (Fig. 24.)

VI. Einteilung der Werkzeugstähle nach Härtegrad und Verwendungszweck.

Alle gewöhnlichen Werkzeugstähle sind Eisen-Kohlenstofflegierungen, man nennt sie daher Kohlenstoffstähle. Sie erhalten ihre Härte ausschließlich durch ihren Gehalt an Kohlenstoff; besitzen aber keine die Härte steigernden Beimengungen. In der Praxis teilt man die Kohlenstoffstähle ein in weiche mit weniger als 0,8 v. H. Kohlenstoff und in harte mit mehr als 0,8 v. H. Kohlenstoff; der höchste Kohlenstoffgehalt bei Werkzeugstählen beträgt 1,7 v. H. Im Handel ist der Werzeugstahl gekennzeichnet mit dem eingeschlagenen Firmenstempel und einem aufgeklebten farbigen Etikett, wobei der härteste Stahl die hellste, der weichste die dunkelste Farbe erhält, das außer der Firmenbezeichnung und der Handelsmarke auch die Angabe des Härtegrades, der hauptsächlichsten Verwendungszwecke und der beim Schmieden und Härten angewendeten Temperaturen enthält. Vielfach wird der Härtegrad durch Zahlen, entsprechend dem Kohlenstoffgehalte, ausgedrückt, also z. B. Härtegrad 7 = 0,7 v. H. Kohlenstoff; andere Fabriken bezeichnen die Stähle mit: sehr hart, hart, mittelhart usw.

Die Leistungsfähigkeit eines Werkzeuges hängt bis zu einem gewissen Grade von der Art des verwendeten Stahles ab. Er darf für einen bestimmten Verwendungszweck, z. B. für alle ruhig beanspruchten Werkzeuge um so härter, also kohlenstoffreicher, gewählt werden, je reiner er von schädlichen Beimengungen ist; für alle Werkzeuge, die in der Hauptsache durch Schlag oder Stoß beansprucht werden, ist ein kohlenstoffarmer, reiner Stahl, z. B. Tiegelstahl, zu benutzen. Je höher der Kohlenstoffgehalt sein darf, desto größer kann die Arbeitsleistung des daraus hergestellten Werkzeuges sein, eine um so sorgfältigere Behandlung muß das Werkzeug indes bei seiner

Digitized by Google

Herstellung — Feuerbehandlung — erfahren. Weicher Werkzeugstahl (Bessemer-, Martin-Stahl) kann nicht so leicht überhitzt und verglüht werden als harter Werkzeugstahl; beim Härten erhält er, infolge höherer Zähigkeit, nicht so leicht Härterisse, erfordert bei der Verarbeitung zu Werkzeugen geringere Aufmerksamkeit und wird in der Praxis in viel größerem Umfange angewendet als harter Stahl.

Harter Stahl — Tiegelgußstahl — erfordert gewissenhafte und aufmerksame Arbeit bei der Herstellung der Werkzeuge und gut unterrichtete, erfahrene Schmiede und Härter.

Der Stahlfabrikant verlangt vom Käufer in der Regel Angaben über den Verwendungszweck, weil man häufig Werkzeuge findet, die aus völlig ungeeignetem Rohstahl hergestellt wurden.

Nachstehende Tabelle gibt einige Anhaltspunkte hinsichtlich der Wahl des Rohstahles für daraus herzustellende Werkzeuge:

	Kohlenstoffgehalt in v. H.
Sensen, Maschinenteile, Besteckstangen, Schmiede- und Schellhämmer	0,60—0,70
Gesenke, Warmmatrizen.	0,70—0,80
Schrotmeißel, Schermesser, Lochstempel, Nadeln, Holzbearbeitungswerkzeuge, Gruben- und Steinbohrer, Hämmer für Kesselschmiede, Kreissägen	0,80—0,90
Alle Arten Bohrer, Hand- und Preßluftmeißel, Körner, Stempel, Berggezähe, Hobeleisen . .	0,90—1,05
Gewindeschneidbacken, Reibahlen, Spiralbohrer, Prägestempel, Schnitte	1,05—1,15
Bohrer, Feilhauermeißel, Feilen, Lochstempel, Drehmesser, Hobel-, Kerb- u. Spaltwerkzeuge	1,15—1,25
Mühlpicken, Kranhämmer, Papier- und Tabakmesser, Graveurwerkzeuge, ärztliche Messer .	1,25—1,35
Drehmesser, Gesteinsbohrer, Steinbearbeitungswerkzeuge.	1,35—1,40
Drehmesser, Rasiermesser, Fräser, Drehwerkzeuge zum Abdrehen harter Walzen, Gewehrlaufbohrer	1,45—1,60

Spezialstähle oder legierte Stähle enthalten außer Eisen und Kohlenstoff zur Erzielung bestimmter Eigenschaften,

Digitized by Google

z. B. die Härte steigernde, Beimengungen von Mangan, Chrom, Wolfram, Nickel, Molybdän, Vanadium. Sie heißen je nach der Art der Beimengungen: Chrom-, Wolfram-, Nickelstahl usw. Das ihnen aufgeklebte Etikett weicht in Text und Farbe von den bei gewöhnlichem Werkzeugstahle gebräuchlichen ab. Die hauptsächlichsten im Handel vorkommenden Spezialstahlgattungen sind:

Schnellstahl, naturharter Werkzeugstahl, Spezialdrehstahl und Magnetstahl.

Naturharter Stahl hat in ungehärtetem Zustande eine so große Schneidkraft und Härte, daß er ohne weiteres zu ruhig beanspruchten Schneidwerkzeugen verwendet werden kann. Bei langsamem Erkalten aus Rotglut ist die Härte größer als bei raschem Abkühlen.

Der Vorzug des naturharten Stahles besteht in der nicht so starken Beeinflussung der Schneidhaltigkeit bei Erhitzung der Schneidkante während der Arbeit, also bei Anwendung schnellaufender Werkzeugmaschinen, auf harten Materialien, bei Abnahme eines besonders starken Spanes usw. Der naturharte Stahl erhält diese Eigenschaften durch einen höheren Gehalt an Wolfram, Mangan und Silizium. Über die Zusammensetzung naturharten Stahles gibt die kleine Tabelle Aufschluß:

Benennung	Kohlenstoff	Mangan	Silizium	Wolfram	Chrom
Englischer Mushetstahl .	1,71	1,8	0,81	7,75	—
Steirischer Stahl	1,78	1,85	1,01	9,72	—
Naturstahl	2,04	1,78	1,08	9,50	—
Schnellstahl	0,80	0,20	0,20	23,00	5,00
Sehr harter Spezialdrehstahl	1,0—1,5	i. d. bei Werkzeugstahl übl. Mengen		3,0—6,0	—

Enthält Spezialstahl einen höheren Wolframgehalt, der die Härte bedeutend steigert, so ist dieser beim Härten besonders vorsichtig zu behandeln, wenn die Härte zu voller Wirksamkeit gelangen soll, ohne daß das Werkzeug durch die entstehenden außerordentlich hohen Härtespannungen geschädigt wird und Härterisse bekommt. Derartigen Spezialstahlgattungen werden ausführliche Härteanweisungen beigegeben.

Digitized by Google

Weichkernstahl hat an der Oberfläche die größte Härte, im Innern ist er ganz weich. Der Übergang zwischen harter Oberfläche und weichem Innern ist ein allmählicher. Dargestellt wird solcher Stahl durch Zementation weichen Stahles; man unterbricht die Kohlung, sobald sie tief genug eingedrungen ist. Da indes das Produkt ungleichmäßig ausfällt, wird es zu Werkzeugen selten gebraucht. Zu Maschinenteilen, die sehr zähe sein müssen, deren Oberfläche aber gegen rasche Abnutzung hart sein soll, z. B. Kurbelzapfen, Lagerstellen der Dynamoachsen usw., verwendet man Weichkernstahl mit wenig tief reichender Härte. (Fig. 25.)

Fig. 25. Grobkörniger Bruch an Kanten und Ecken eines eingesetztes Stahles. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Wolframstahl findet Verwendung bei Anfertigung von Gewindebohrern, Gewindebacken, Schneideisen, Drehstählen für Hartgußwalzen und abgebremste Radreifen.

Chromstahl dient zur Bearbeitung sehr harter Materialien; er eignet sich für Hobel-, Bohr- und Drehstähle, sehr harte Fräser, Schaber u. dgl. m.

Schnellstahl wird gebraucht zur Herstellung von Werkzeugen, die bei größter Schnittgeschwindigkeit schwere Schrubbarbeiten leisten sollen, also für Stähle zu Hobel- Dreh-, Revolver- und Automatendrehbänken, Fassonmesser, Spezialbohrer und Fräser aller Art.

VII. Äußere Beobachtungen an Werkzeugstahl, wie er in den Handel kommt.

Der Verbraucher von Werkzeugstahl beachte beim Empfange der Lieferung bzw. vor Weiterverarbeitung zu Werkzeugen folgendes:

Der erhaltene Stahl muß frei sein von Rissen, Nähten, Schuppen u. ä. m.

Digitized by Google

Risse sind an der Oberfläche des Stahles durch kurze, gerade in der Längsrichtung verlaufende Linien erkennbar. Sie lassen sich mit Sicherheit durch Überfeilen der betr. Stellen freilegen und feststellen.

Nähte laufen ebenfalls parallel zur Längsrichtung, meist an zwei einander gegenüberliegenden Seiten oder Kanten, selten an einer Seite. Sie entstehen durch das seitliche Austreten des Stahles beim Walzen oder Schmieden im Gesenk und durch das Umlegen und Eindrücken des ausgedrückten Materiales bei der Weiterverarbeitung.

Schuppen bestehen aus einzelnen im Bogen verlaufenden oder aus mehreren zusammenhängenden Bogen bestehenden Linien. Sie rühren meist von nicht entfernten Saigerkörnchen an der Blockoberfläche, Schlackenresten oder von beim Gießen des Stahles entstandenen Gußschalen her, seltener von Schmiede- oder Walzfehlern.

Kantenrisse sind Querrisse an den Kanten des Stahles, die senkrecht zur Längsrichtung verlaufen. Sie deuten auf »Rotbruch« oder zeigen, daß der Stahl schon beim Schmieden stark überhitzt — verbrannt — wurde. Zur Herstellung von Werkzeugen ist solcher Stahl gänzlich ungeeignet.

Alle diese vorstehend angeführten, an der Oberfläche des Stahles wahrnehmbaren Fehler führen bei der Verarbeitung leicht zu unbrauchbaren Werkzeugen, weil die beim Härten entstehenden Härterisse hier ihren Anfang nehmen.

Das Bruchaussehen nicht gehärteten Stahles ist für seine Güte nicht, für seine Härte nur in sehr unbestimmten Grenzen maßgebend. Viele Härtefachleute, Meister u. a. m. beurteilen die einzelnen Stahlsorten nur nach dem Bruchaussehen. Bei der großen Zahl von Stahlsorten aller Art ist dies heute nicht mehr angängig, führt leicht zu Irrtümern und Verwechslungen. Man schlage daher die Fabrikmarke, Härtegrad oder sonstige unterscheidende Bezeichnungen tunlichst an das Ende der Stahlstange nochmals auf, so daß beim Abarbeiten diese wichtigen Bezeichnungen bis zum letzten Stahlstück erkennbar bleiben. Die Ordnung im Stahllager, die so außerordentlich wichtig und die unter allen Umständen einzuhalten ist, wird hierdurch wesentlich erleichtert.

Digitized by Google

Jeder Werkzeugmacher achte besonders auch darauf, daß die für ein bestimmtes Werkzeug mit bestimmtem Verwendungszweck erforderlichen Härtegrade der zur Verarbeitung dienenden Stahlsorte vorhanden sind; ein Behelfen mit einem für das vorliegende Werkzeug ungeeigneten Härtegrad führt fast stets zu Beanstandungen.

VIII. Prüfung des Eisens.

Die Prüfung des Eisens kann sich erstrecken auf: Festigkeitsversuche, Härteprüfung und technologische Proben. Bei ersteren wird sowohl die Kraft wie auch die hierdurch erzielte Formänderung gemessen, während letztere nur bezwecken, die Formänderungen zu beobachten, welche das Eisen bei ver-

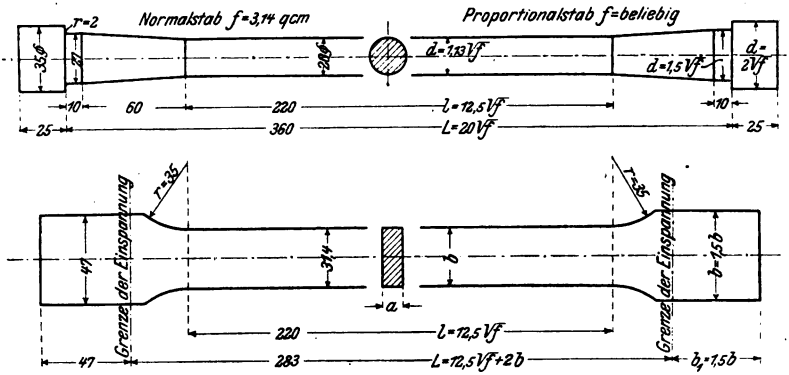


Fig. 26 u. 27. Probestäbe für den Zugversuch.
(Aus Wawrziniok, Materialprüfungswesen.)

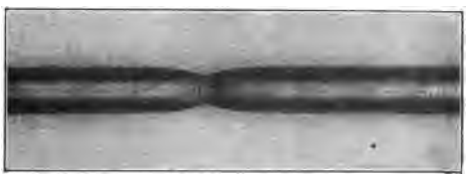
schiedenen in der Praxis gebräuchlichen Arbeitsverfahren erleidet.

Die hierbei angewendeten Prüfungsmethoden lassen sich teils nur in einem mit allem notwendigen wissenschaftlichen Rüstzeug ausgestatteten Laboratorium vornehmen, während einige davon auch in der Werkstatt ausführbar sind. Im letzteren Falle sind die zu benutzenden Apparate so durchgebildet, daß die beigegebenen Gebrauchsregeln jedem verständlich sind und die Verwendung im Betrieb ermöglichen.

Digitized by Google

A. Laboratoriumsprüfverfahren.

I. Festigkeitsversuche. Form und Abmessungen der Probestäbe sind von den großen technischen Verbänden vereinbart oder von den Abnahmebehörden vorgeschrieben. Die Materialproben müssen aus dem ganzen Stück durch Hobeln, Sägen oder Bohren in kaltem Zustande entnommen werden und nicht durch Scherenschnitt oder Bearbeiten in warmem Zustande. Alle scharfen Eindrehungen und plötzlichen Übergänge von einem größeren auf einen kleineren Querschnitt sind zu vermeiden.



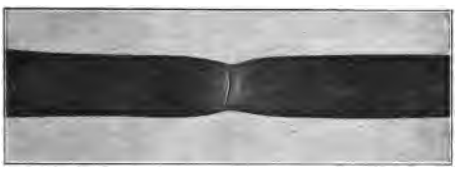


Fig. 28 u. 29. Querschnittszusammenziehung eines Rund- und eines Flachstabes. (Aus Wawrziniok, Materialprüfungswesen.)

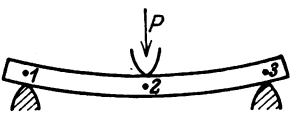


Fig. 30. Biegeversuch.

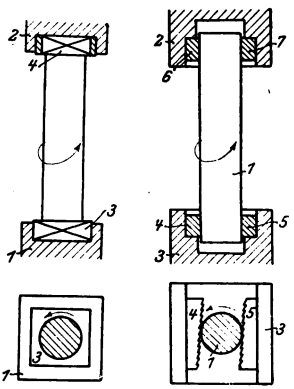


Fig. 31 u. 32. Einspannen der Probestäbe beim Verdrehungsversuch. (Aus Wawrziniok, Materialprüfungswesen.)

a) Zugversuch. Die Formen der Probestäbe zeigen Fig. 26 und 27. Der Stab wird sich allmählich steigernder Zugbelastung ausgesetzt, wobei gleichzeitig seine Formänderung beobachtet wird. Gemessen wird die Elastizitätsgrenze, Bruchdehnung, Kontraktion (Einschnürung) und die Größe der Belastung. (Fig. 28 u. 29.)

b) Biegeversuch. Ausführung des Versuches zeigt Fig. 30. Gemessen werden die vorübergehende und die bleibende Durchbiegung sowie die Biegungsfestigkeit.

Digitized by Google

e) Drehversuche. (Fig. 31 u. 32.) Das Probestück ist an beiden Enden eingespannt. Der eine Einspannkopf wird festgehalten, der andere durch mechanischen Antrieb verdreht. Gemessen wird die drehende Kraft und die Verdrehung.

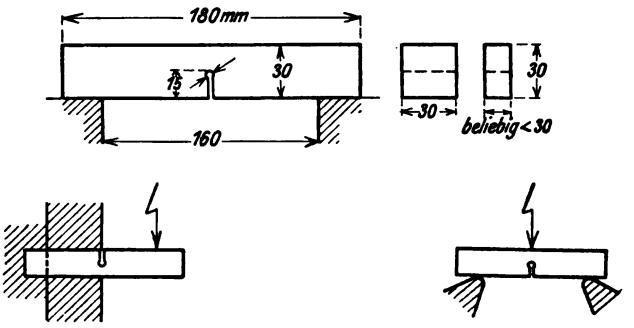


Fig. 33, 34 u. 35. Vorbereitung der Stäbe für den Schlagversuch.

d) Schlagversuch. Die Beanspruchung erfolgt stoß- oder schlagweise. Die Vorbereitung des Stabes und das Einspannen zeigen Fig. 33, 34, 35. Als Kraft wirkt ein aus einer gemessenen Höhe herabfallendes Fall- oder Schlaggewicht.

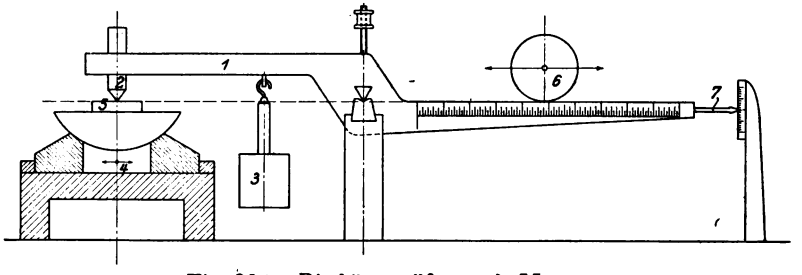


Fig. 36.[1]) Ritzhärteprüfer nach Martens.

II. Härteprüfung. Von den vielen vorgeschlagenen Verfahren haben sich behauptet: Das Ritzhärteverfahren nach Martens, das Kugeldruckverfahren nach Brinell und die Kegeldruckprobe nach Ludwik.

[1]) Fig. 36 bis 47 aus Wawrziniok, Materialprüfungswesen.

Digitized by Google

a) Ritzhärteverfahren. Durch einen besonderen Apparat werden sauber polierte, ebene Proben unter einem verschieden hoch belasteten kegelförmig geschliffenen Diamanten fortgezogen, so daß hierdurch eine Anzahl verschieden breiter Risse entstehen. Die Breite der Risse wird unter dem Mikroskop gemessen. (Fig. 36 u. 37.)

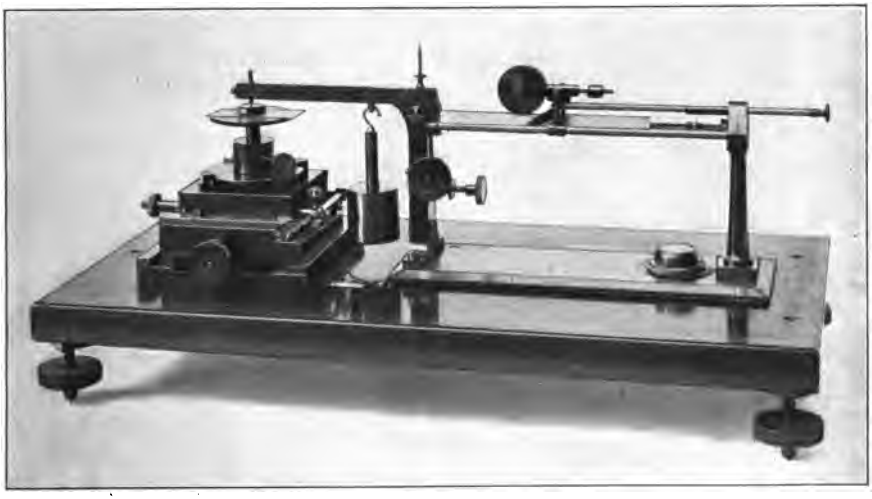


Fig. 37. Ritzhärteprüfer nach Martens.

b) Kugeldruckverfahren. Eine gehärtete Stahlkugel von bestimmter Größe — 10 mm Durchmesser — wird durch meßbaren, stoßfrei wirkenden Druck in die Oberfläche des zu prüfenden Materiales eingetrieben und der Durchmesser des Eindruckes gemessen. (Fig. 38 u. 39.)

c) Kegeldruckprobe. Zur Erzeugung des Eindruckes wird ein gehärteter Stahlkegel von bestimmten Abmessungen verwendet. (Fig. 40.)

III. Technologische Proben. Hierunter versteht man alle die Versuchsarten, mit deren Hilfe die Zähigkeit, Bildsamkeit und Bearbeitbarkeit der Metalle ermittelt werden sollen. Die gebräuchlichsten sind die Biegeprobe und Schmiedeprobe.

Digitized by Google

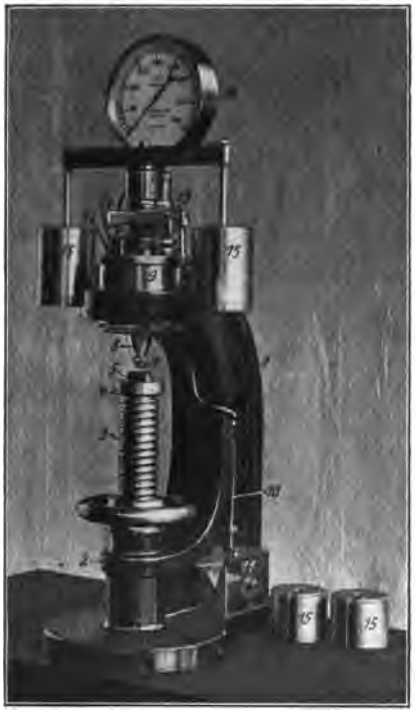


Fig. 39. Brinellsche Kugeldruckpresse.

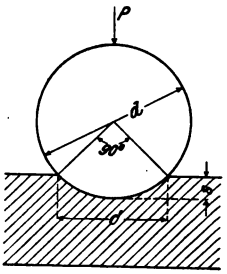


Fig. 38. Kugeldruckprobe nach Brinell.

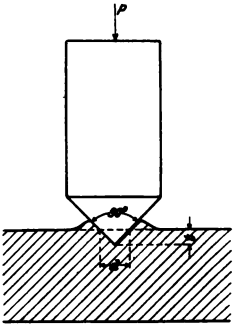


Fig. 40. Kegeldruckprobe von Ludwik.

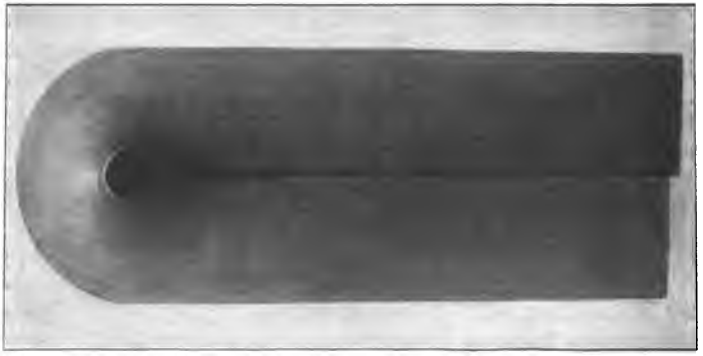


Fig. 41. Biegeprobe.

Digitized by Google

a) Biegeprobe. Der Stab von quadratischem, rechteckigem oder rundem Querschnitte, beiderseits gelagert, wird in der Mitte durchgebogen. Die Durchbiegung wird so weit getrieben, bis an der Außenseite des Stabes Risse auftreten. Man hat die Kaltbiegeprobe und Warmbiegeprobe. (Fig. 41 u. 42.)

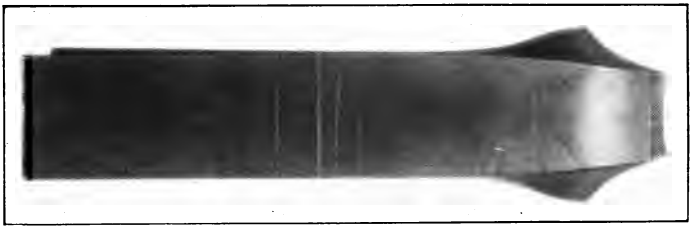


Fig. 42. Biegeprobe.

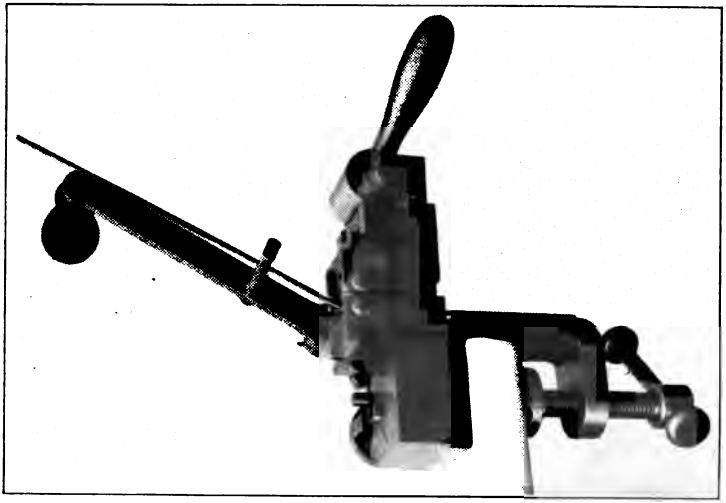


Fig. 43. Apparat zur Ausführung der Hin- und Herbiegeprobe.

b) Hin- und Herbiegeprobe. Sie wird bei Drähten angewendet und in einem besonderen Apparate ausgeführt. Die Probe ist bis zum Bruch des Drahtes auszuführen, d. h. bis er an der Biegestelle einen deutlich sichtbaren Querriß aufweist. (Fig. 43.)

Digitized by Google

c. **Die Verwindungsprobe.** Sie wird ebenfalls zur Güteprüfung von Drähten ausgeführt. Mittels einer Maschine wird der Draht um seine Achse verdreht und hierbei die Anzahl der Verwindungen gezählt. Die Verwindungszahl dient als Gütemaß. (Fig. 44.)

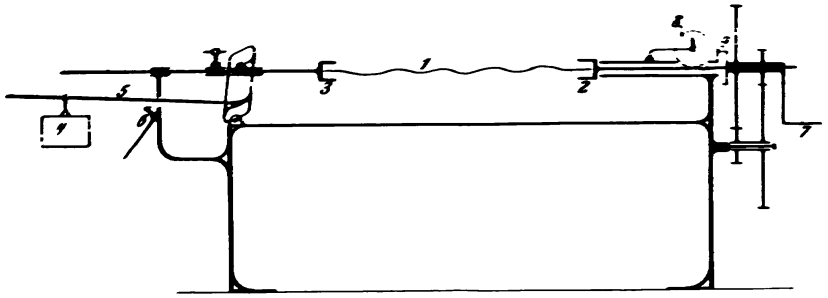


Fig. 44. Apparat zur Ausführung der Verwindeprobe.

d) **Prüfung der Härte von Stahl.** Nach dem Vorschlage von Stribeck wird ein kurzer gehärteter Stahlstab einem Biegeversuch auf einer hierfür besonders konstruierten Vorrichtung unterworfen; die Durchbiegung wird durch einen besonderen Apparat gemessen. (Fig. 45, 46 u. 47.)

e) **Prüfung von Werkzeugen.** Sie geschieht durch den praktischen Gebrauch an jeder Werkzeugmaschine, die mit den erforderlichen Meßinstrumenten ausgerüstet ist.

Feilen und Sägen werden auf besonders konstruierten Maschinen, bei denen das Werkzeug gleichmäßig belastet wird, für jedes zu bearbeitende Material geprüft.

Meißel und allgemeine Werkzeuge werden einer Beanspruchung entsprechend ihrer Verwendung unterzogen.

IV. **Prüfung des Eisens durch Ätzung.**[1]) Bei der Prüfung des Eisens durch Ätzung wird das Gefüge, der innerste Aufbau, dem Auge erschlossen. Dabei ist in manchen Fällen die Beobachtung mit dem bloßen Auge ausreichend, in weitaus überwiegender Zahl wird man aber das Mikroskop zu Hilfe nehmen, um Aufschluß über Einzelheiten zu erlangen.

[1]) Vgl. auch Dr.-Ing. E. Preuß: Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes. Berlin. Verlag von Julius Springer.

Digitized by Google

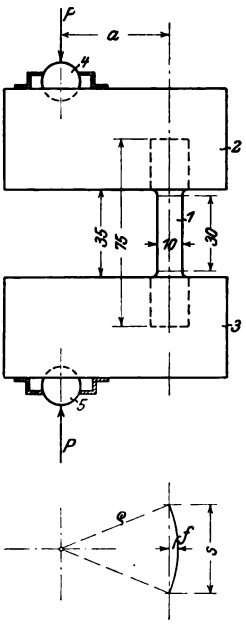


Fig. 45. Apparat zur Prüfung gehärteten Stahles.

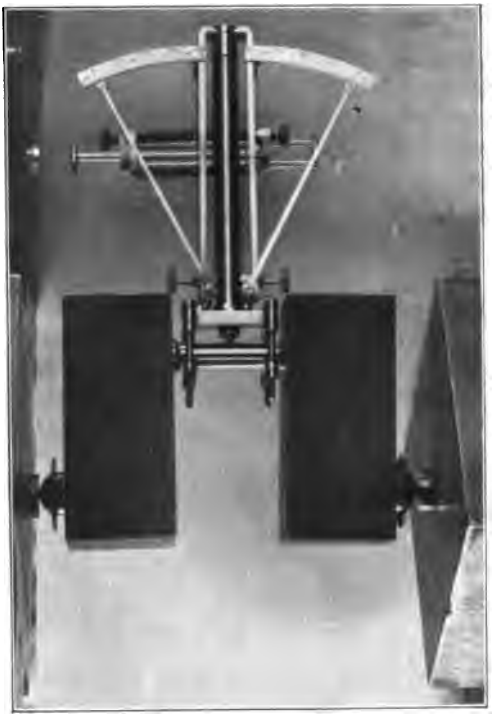


Fig. 46. Apparat zur Prüfung gehärteten Stahles

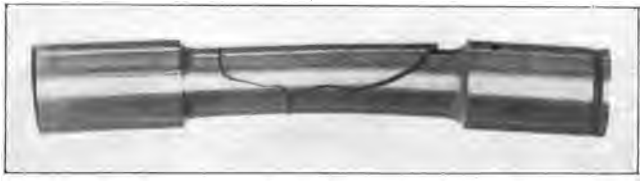


Fig. 47. Bruchprobe, mit dem in Fig. 45 und 46 dargestellten Apparate ausgeführt.

Wesentlich ist in beiden Fällen die Herstellung einer geeigneten Schlifffläche. Die zu untersuchende Fläche wird möglichst eben gehobelt oder gefeilt, mit der Schlichtfeile geschlichtet, zuletzt mit Schmirgelpapier von immer höherem Feinheitsgrade geschliffen.

Digitized by Google

Das Ätzen erfolgt mit Kupferammoniumchlorid, und zwar löst man 1 Gewichtsteil desselben in 12 Gewichtsteilen Wasser. Diese Lösung füllt man in eine Glas- oder Porzellanschale von einer dem Umfange der Probe entsprechenden Größe. Beim Eintauchen in die Lösung ist das Probestück etwas hin und her zu bewegen; es soll genau 60 Sekunden darin liegen bleiben und darnach sofort in fließendes Wasser gehalten werden, wo-

Fig. 48.[1]) Schweißeisen, Rundstab.

Fig. 49. Schweißstahl (Gärbstahl).

bei mit einem Wattebausch der Kupferniederschlag, der sich auf der Schlifffläche gebildet hat, zu entfernen ist; darnach wird sie mit einem weichen Leinentuch abgetrocknet, mit einem in

Fig. 50. Längsschnitt durch einen Flußeisenblock.

Alkohol getränkten Wattebausch abgetupft und nochmals sorgfältig getrocknet. Man erhält so das Gefügebild der Schlifffläche.

[1]) Fig. 48 bis 59 Aus Preuß, Prüfung des Eisens.

Digitized by Google

Es sind nun mit dem bloßen Auge schon die besonderen Unterschiede der Eisen- und Stahlsorten wahrnehmbar. Fig. 48 zeigt den Querschnitt eines Rundstabes aus Schweißeisen, bei dem deutlich die einzelnen Lagen, aus denen das Material zusammengeschweißt wurde, zu erkennen sind. Die dunkle Stelle bei b ist ein Schlackeneinschluß. Fig. 49 stellt den Querschnitt durch einen Vierkantstab aus Schweißstahl (Gärbstahl) dar. Das flammige Gefüge ist, dem Schweißeisen eigentümlich, erkennbar.

Bei Flußeisen treten, infolge seiner Erzeugung im flüssigen Zustande und Erstarrung in der Gußform — eiserne Kokillen — Seigererscheinungen auf, die in einer Entmischung bestehen, wie Fig. 50 zeigt. Die dunklen Stellen enthalten Ausscheidungen von Phosphor und Schwefel. Fig. 51

Fig. 51. Flußeisenrundstab mit starker Seigerung.

Fig. 52. Autogen geschweißtes Flußeisenblech.

Fig. 53. Von Hand geschweißtes Flußeisenblech.

zeigt die rechteckige dunkle Seigerungszone im Kern eines Flußeisenstabes.

Der Verlauf und die Güte von Schweißstellen läßt sich aus Fig. 52 und 53 verfolgen.

Digitized by Google

Zur Untersuchung mit dem Mikroskop, das natürlich tiefere Einblicke in die Natur des Materiales gestattet, muß eine größere Sorgfalt bei Herstellung der Schliffproben aufgewendet werden. Das Schleifen erfolgt auf der Bank mit Schmirgelleinen immer feinerer Körnung. (Fig. 54.)

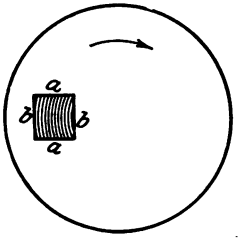


Fig. 54. Schleifen der Proben.

Für die Werkstatt genügt ein Mikroskop von 40- bis 100facher Vergrößerung (Fig. 55), die Metallschliffe werden mit auffallendem Lichte untersucht (Fig. 56). Daß die oben angeführte Vergrößerung tatsächlich hinreichend praktische Einblicke gewährt, zeigen die Fig. 57 bis 59.

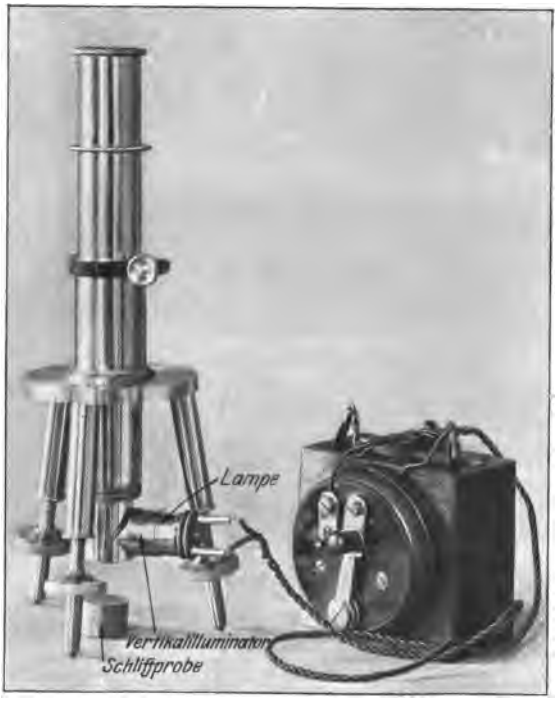


Fig. 55. Metallmikroskop.

Digitized by Google

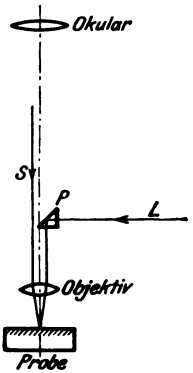


Fig. 56. Strahlengang im Metallmikroskop.

Fig. 57. Durch Kohlenstoffaufnahme angeschwollener Glühlichtstrumpfhalter.

Fig. 58. Querschnitt durch das untere, nicht gekohlte Ende des Strumpfhalters. Vergrößerung = 42.

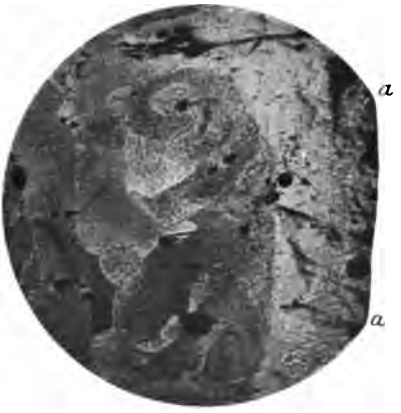


Fig. 59. Querschnitt durch das obere gekohlte Ende des Strumpfhalters. Vergrößerung = 42.

Digitized by Google

B. Prüfverfahren anwendbar im Betrieb.

1. Härteprüfung mit Hilfe des Skleroskopes.

Unter Härte versteht man im allgemeinen den Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen entgegensetzt. Dieser Widerstand ist ebenso von der Festigkeit des Materiales wie von dessen Elastizität abhängig.

Die Erkenntnis dieser Tatsachen veranlaßten A. F. Shore gemeinschaftlich mit dem Metallurgen Dr. P. Heroult zur Konstruktion eines »Skleroskop« genannten Apparates.

Das Shoresche Skleroskop beruht darauf, daß ein freifallender Körper um so höher zurückspringt, je elastischer die von ihm getroffene Unterlage ist. Da aber gerade bei gehärtetem Stahl Elastizität und Härte in ziemlich konstantem Verhältnis stehen, so wird die Rücksprunghöhe des Fallhammers mit wachsender Härte des Gegenstandes stets höher werden.

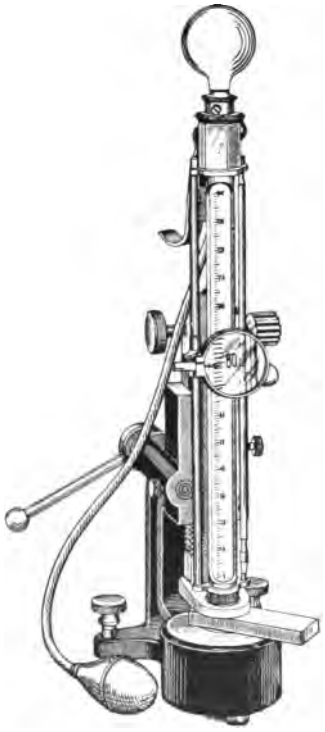


Fig. 60.

Als fallender Körper dient ein Fallhammer, in dessen Spitze ein Diamant eingesetzt ist. Anheben und Fallenlassen des Hammers geschieht durch Luftdruck, indem jedesmal ein Gummiball zusammengedrückt wird. Der entstehende Luftstoß saugt den Hammer in einem Glasröhrchen an oder gibt ihn frei, so daß er herabfällt.

An einer Skala kann die Höhe des Rücksprunges abgelesen werden. (Fig. 60.)

Bei der Anwendung des Skleroskopes sind einige Vorsichtsmaßregeln zu beobachten, um stets einwandfreie Versuchsergebnisse zu erhalten. Zur Erzielung zuverlässiger

Digitized by Google

Angaben ist es notwendig, nach jedem Aufschlag des Fallhammers das zu prüfende Stück etwas zu verschieben. Tut man dies nicht oder nur in ganz geringem Maße, so wird der Fallhammer auf eine Stelle des Werkstückes treffen, die durch den vorhergehenden Aufschlag eine Verdichtung erfahren hat, Fig. 61 zeigt dies in übertriebenem Maße dargestellt, er wird demnach hier eine größere Sprunghöhe erreichen.

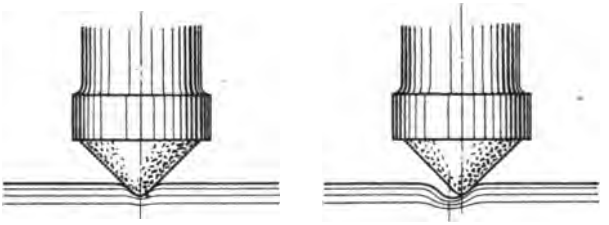


Fig. 61.

Will man die Fang- und Auslösemechanismen ölen, so soll dies nur bei den Sperrädchen geschehen. Jedenfalls darf kein Öl in die inneren Teile gelangen, da im Verein mit Staub und Schmutz die Lederklappen und Manschetten klebrig und schmierig werden, ein Versagen des Apparates also eintritt. Durch Reinigen dieser verschmutzten Teile mit Benzin wird das Versagen leicht behoben und ein einwandfreies Arbeiten des Apparates erreicht.

2. Kugeldruckverfahren nach Brinell.

Vgl. Seite 51 und Fig. 38 und 39.

IX. Anlage und Betriebsmittel einer Härterei.

1. Lage des Härteraumes. (Fig. 61a.)

Als allgemeinen Grundsatz kann man hierfür aufstellen: Die Härterei bzw. die Schmiede lege man in die Teile der Fabrikräume, die wegen Lichtmangel ohnehin für andere Zwecke nicht verwendbar sind. Die Fenster richte man nach der Nordseite, weil die Räume so die gleichmäßigste Beleuchtung durch zerstreutes Licht erhalten. Die beste Beurteilung

Digitized by Google

der Glüherscheinung findet im Halbdunkel statt; bei vollem Tageslicht wird die Temperatur leicht für niedriger, hingegen bei Nacht leicht für höher angesetzt, als sie wirklich ist. Bereits vorhandene Anlagen, die zu gewissen Tageszeiten dem direkten Sonnenlichte ausgesetzt sind, sollen Fenster mit einem

Fig. 61a. Blick in einen vollständig eingerichteten Härteraum.

geeigneten Anstrich oder mit Zuggardinen erhalten, um die Härterei vor grellem und wechselndem Lichte zu schützen.

Es ist nämlich zu beachten, daß die Schmiede- und noch mehr die anzuwendenden Härtetemperaturen in verhältnismäßig recht engen Grenzen liegen, die das Auge des Härters zu beurteilen hat. Der Vorteil zweckmäßig beleuchteter Räumlichkeiten liegt also im Interesse des Verbrauchers der vom Härter hergestellten Werkzeuge. Temperaturdifferenzen von + oder — 30° C haben gegenüber der richtigen Härte-

Digitized by Google

temperatur schon erheblich ungünstigere Resultate zur Folge; Temperaturunterschiede von nur 60° C sind selbst für das geübteste Auge kaum bemerkbar, für ein weniger geübtes aber völlig unkenntlich. Daraus erklären sich auch die vielen Mißerfolge beim Härten und die oft beobachtete große Verschiedenheit in der Leistung der Werkzeuge aus ein und derselben Stahlsorte.

2. Feuerungsanlagen zum Erhitzen des Stahles.

a) Öfen für feste Brennstoffe.

In der weitaus größten Anzahl kleinerer Betriebe steht zum Erwärmen des Stahles das gewöhnliche Schmiedefeuer zur

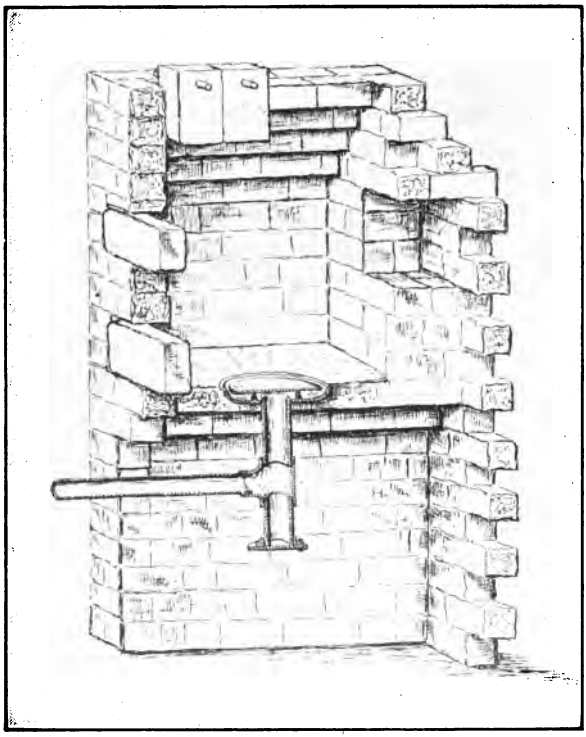


Fig. 62. Schmiedeherd für Härtezwecke. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Digitized by Google

Verfügung. Bei Anwendung geeigneter Vorsichtsmaßregeln lassen sich auch hiermit gute Resultate erzielen, wobei allerdings nicht außer acht zu lassen ist, daß dabei von der Aufmerksamkeit und Geschicklichkeit des Härters der Erfolg abhängt und an diese naturgemäß höhere Anforderungen gestellt werden (Fig. 62). Zum Anwärmen nimmt man Holzkohle, wo solche nicht vorhanden, gut durchgebrannte Schmiedekohlen. Mit geringer Mühe kann man sich auch eine Art Muffelofen herstellen. Zum Erwärmen von Werkzeugen wie Spiralbohrer, Reibahlen, Gewindebohrer u. dgl. m. läßt sich ein Stück altes Gasrohr leicht zurechtmachen, indem man das eine Ende zuklopft (Fig. 62a). Im Feuer wird es dann von allen Seiten, mit Ausnahme des herausragenden offenen Endes, mit glühender Kohle oder Koks gut umpackt. Kürzere Stücke alten U-Eisens oder ein aus einem Stück Blech gebogener Kasten leisten ebenfalls gute Dienste. In diese selbstgefertigten Muffeln bringt man dann Holzkohle und erwärmt. Man erreicht hierdurch einen vollkommenen Schutz vor der schädlichen Einwirkung des Gebläsewindes, die Ecken und Schneidkanten der Werkzeuge werden vom Feuer nicht angegriffen, die Werkstücke lassen sich gut beobachten und gleichmäßig und sicher erwärmen.

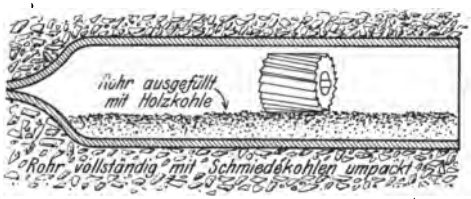


Fig. 62a. Altes Stück Gasrohr, zur Muffel zurechtgemacht.

Die Nachteile der Erwärmung des Stahles im offenen Feuer — ungleichmäßige Temperatur, direkte Berührung mit dem Brennstoff und dem Gebläsewind — werden bei Verwendung von Schachtöfen vermieden, bei denen der Stahl nur mit den heißen Verbrennungsgasen der Brennstoffe und nicht mit diesen selbst in Berührung kommt. In ihrer Einrichtung sind alle diese Öfen gleich; zur Verwendung gelangen Brennstoffe, die keine eigentliche Flamme bilden, sondern vergasen. Sie können ohne Anwendung besonderer Gebläse im Betrieb gehalten werden, sofern nur Anschluß an einen genügend hohen Schornstein möglich ist.

Digitized by Google

Einen solchen Schachtofen zeigt Fig. 63. Er ist aus feuerfesten Ziegeln aufgemauert; das Mauerwerk wird durch Anker und Schließen zusammengehalten, oder ein gebrauchtes Stück alten

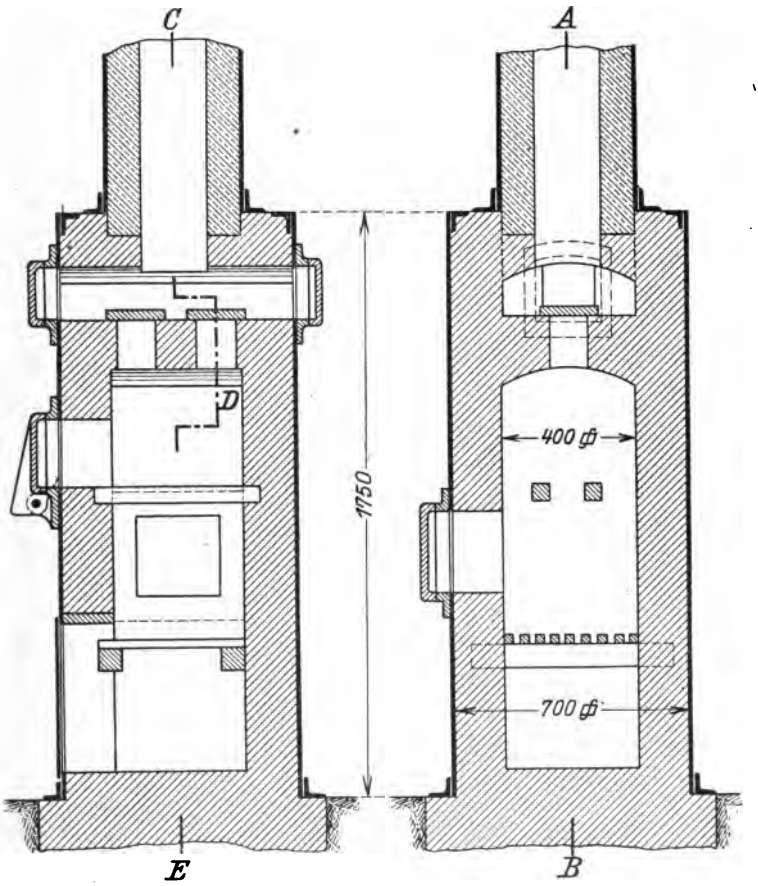


Fig. 63. Schachtofen.

Flammrohres wird entsprechend hergerichtet. Der Essenkanal erhält zur Regulierung des Luftzuges eigene Essenschieber. Die Anheizdauer eines solchen Ofens beträgt 1 bis 2 Stunden; zeigt das Ofeninnere Hellrotglut, so kann mit dem Einbringen der zu erhitzenden Werkzeuge begonnen werden.

Digitized by Google

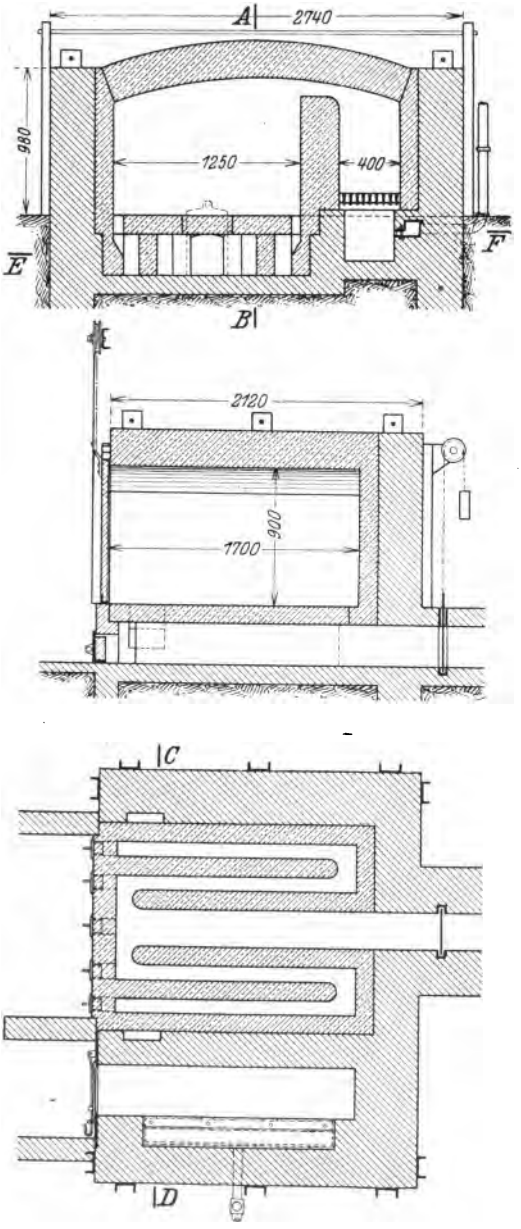


Fig. 64. Flammofen für Einsatzhärtung.

Sollen lange Gegenstände, wie Scherenmesser u. dgl. erhitztwerden, so erhält der Ofen eine den zu härtenden Gegenständen entsprechende größere Länge. Zur Bedienung des sich unter dem ganzen Herde hinziehenden Rostes sind die Heizöffnungen bei größeren Ofenlängen an der Längsseite angeordnet, wodurch überdies die Hantierungen im Arbeitsraum durch Bedienung des Rostes nicht gestört werden.

Zur Vermeidung ungleichmäßiger Temperaturen, wie sie bei Flammöfen vorkommen, hat man Sonderkonstruktionen angewendet, wie sie der in Fig. 64 dargestellte Härteflammofen, der besonders für Einsatzhärtung benutzt wird, zeigt. Die Werkzeuge

Digitized by Google

werden in gußeiserne Kästen, in Härtepulver eingepackt und mit gußeisernen Platten abgedeckt.

Die Heizgase streichen über den Herdraum und werden außerdem unter dem Herde in mehreren Kanälen zum Schornstein geführt. Der Ofen besitzt Unterwindfeuerung; die Ge-

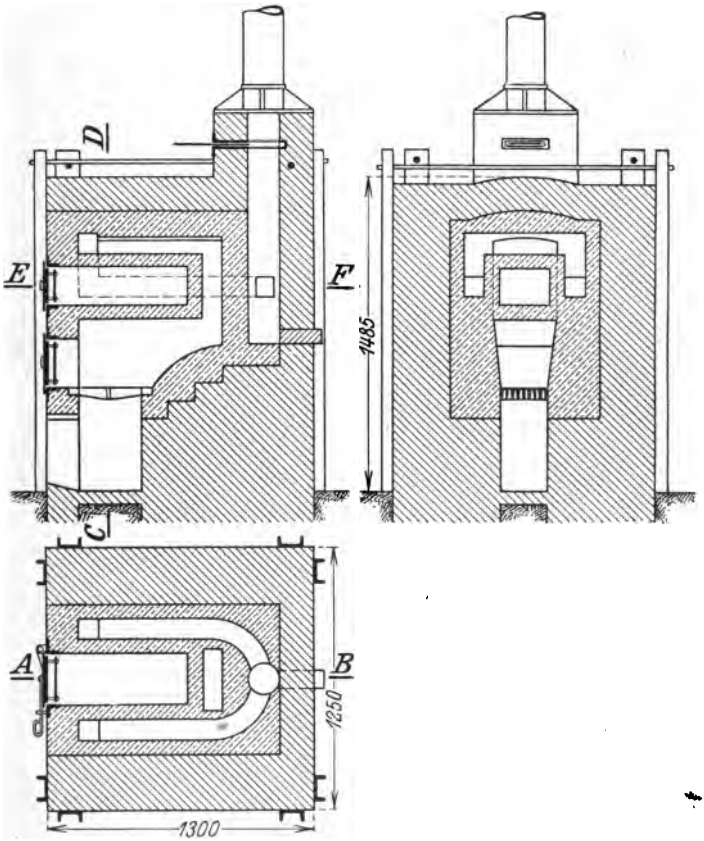


Fig. 65. Muffelofen für Kohlen- oder Koksfeuer.

bläseluft wird durch eine besondere Windleitung unter den Rost geführt, die Luftzufuhr ist durch einen Schieber zu regeln; ebenso ist im Essenkanal zur Regulierung ein Schieber eingebaut.

Durch den Einbau einer eisernen oder einer Tonmuffel in den Arbeitsraum erhält man einen Muffelofen. Die Ab-

Digitized by Google

messungen der Muffel müssen natürlich entsprechend kleiner als der Arbeitsraum sein, damit sie von allen Seiten von den Heizgasen umspült wird. Die lichte Weite der Muffel wähle man zweckmäßig so groß, daß auch Glüh- oder Einsatzkästen

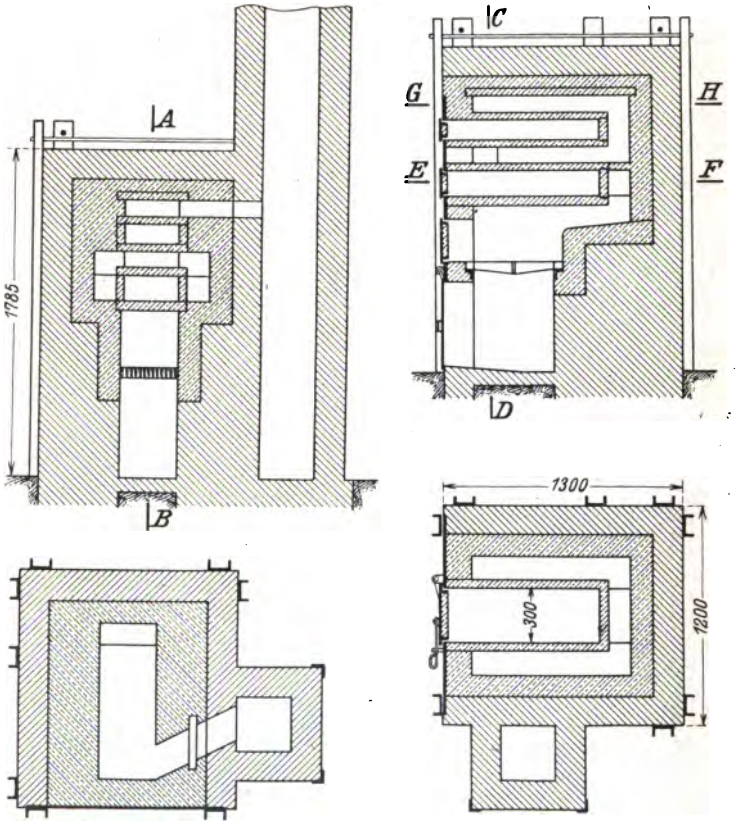


Fig. 66. Doppelmuffelofen für Kohlen- oder Koksfeuer.

zum Ausglühen oder im Einsatz zu härtender Gegenstände bequem eingebracht werden können (Fig. 65).

Sind eine große Zahl gleicher Stücke zu erhitzen, so ist in vielen Fällen die Benutzung eines Doppelmuffelofens empfehlenswert, wobei die obere Muffel zum Vorwärmen der Werkstücke benutzt wird (Fig. 66.)

Digitized by Google

Der in Fig. 67 dargestellte Muffelofen mit gußeiserner Muffel dient zum Erhitzen größerer Gegenstände.

Die Muffeln aus feuerfestem Materiale, die verschiedenartige Ausführungsformen haben, werden von den heißen Abgasen umspült und dadurch erwärmt. Das Erhitzen des Stahles geschieht ausschließlich durch die von den Wandungen der Muffeln ausgestrahlte Wärme. Ein Überhitzen des Werkzeugstahles ist bei Unaufmerksamkeit auch hier möglich, besonders wenn er auf den Boden der Muffel gelegt wird. Deshalb ist es besser, das Werkzeug auf Unterlagen, z. B. Eisenstäbe, zweckmäßiger noch auf behauene Stücke feuerfester Steine, möglichst in die Mitte der Muffel zu legen; wiederholtes Wenden des Stahles

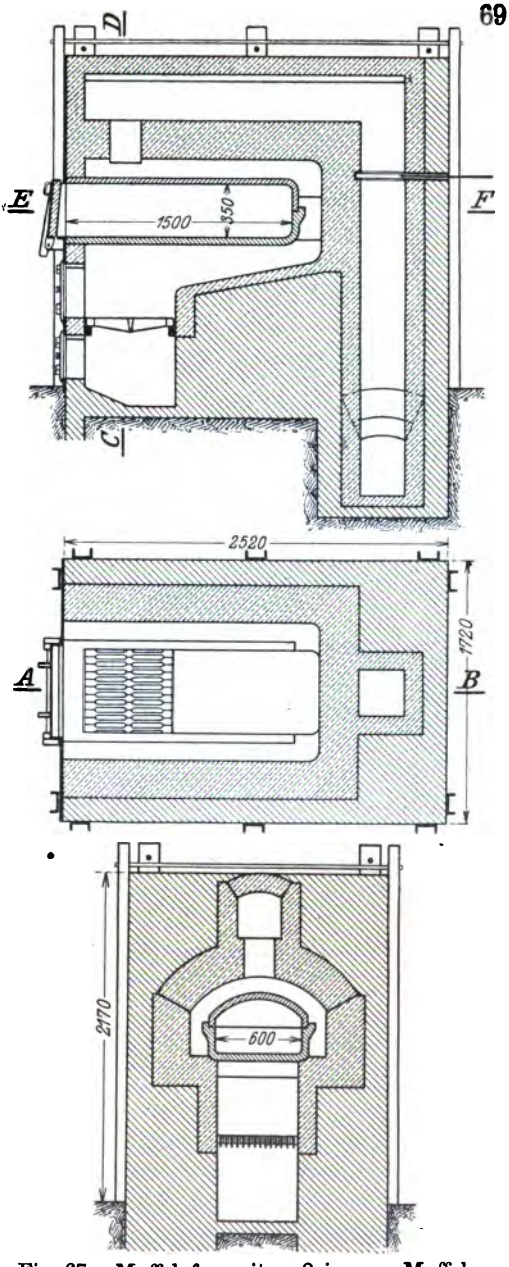


Fig. 67. Muffelofen mit gußeiserner Muffel.

Digitized by Google

fördert dabei die gleichmäßige Erwärmung. Um den Luftzutritt in die Muffel zu verhindern, soll die Muffelöffnung durch eine Schiebetür aus Schamotte, die dichter als eine sich unter dem Einfluß der Hitze verziehende eiserne Tür schließt, geschlossen sein. Ein Schauloch, mit einem Glimmerblättchen verschlossen, gestattet die Beobachtung des Werkstückes.

Muffeln aus feuerfestem Materiale sollen vorsichtig und sehr langsam erwärmt werden, weil sie sonst leicht Sprünge erhalten. Entstehen solche dennoch, so verschmiert man sie mit einem Teig, angerührt aus 4 Teilen Graphit und 1 Teil Ton.

b) Glüh- und Härteöfen mit Gasfeuerung.

Der Gashärteofen, mit oder ohne eingebauter Muffel, ist wegen der Sauberkeit und Leichtigkeit seiner Bedienung gerade in den letzten Jahren immer mehr in Aufnahme gekommen, und eine moderne Härtereianlage ist ohne ihn kaum noch denkbar.

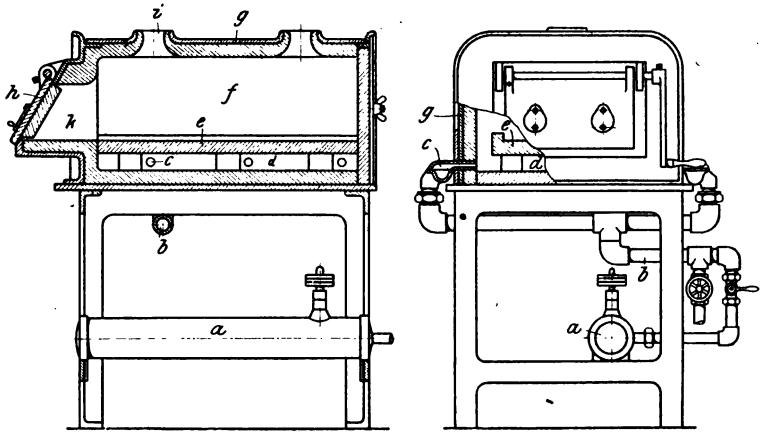


Fig. 67a. Härteofen mit Gasfeuerung. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Der Hauptvorteil der mit Gas oder Öl geheizten Öfen besteht darin, die Temperatur während jeder gewünschten Zeitdauer gleichmäßig auf derselben Höhe zu erhalten; der Ofen kann, konstante Gaszufuhr vorausgesetzt, bis zu der geeigneten Temperatur erhitzt werden und die Werkzeuge können so lange

Digitized by Google

darin bleiben, bis sie jene Temperatur erreicht haben, Dies erleichtert die Überwachung und macht ein Überhitzen fast unmöglich. Der Preis des Gases spielt damit gegenüber den mancherlei Vorteilen im Vergleiche zu anderen Brennstoffen keine ausschlaggebende Rolle mehr.

Das Gas wird mit Luft von 700 bis 800 mm Wassersäule vermischt (Fig. 67a u. 67b). Die in einem Gebläse erzeugte Druck-

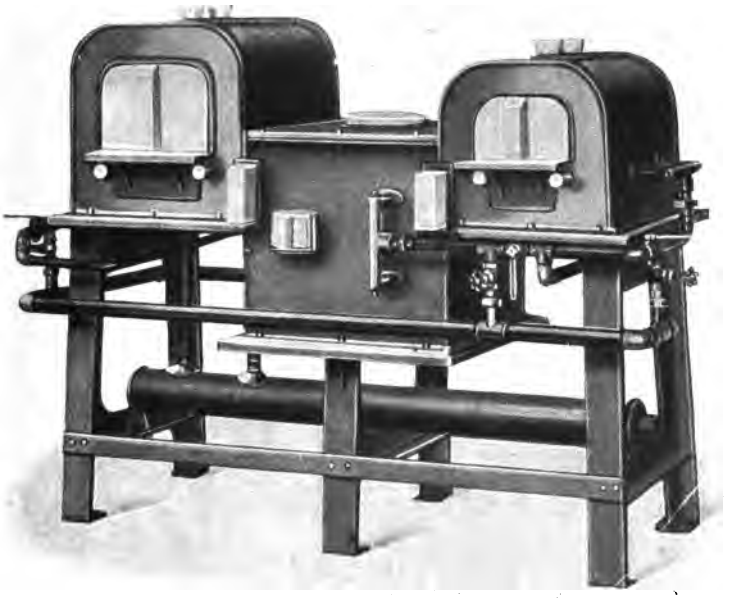


Fig. 67b. Kombinierter Gas-Muffelofen mit zwei horizontalen und einer vertikalen Muffel.

luft gelangt zunächst in einen in der Regel unter jedem Ofen angebrachten Windkessel *a* und dann in die Rohrleitung *b*, in der sich die Druckluft mit dem Gase mischt. Das Gas- und Luftgemisch tritt durch die zu beiden Seiten des Ofens angeordneten und zueinander versetzten Düsen in den Verbrennungsraum, der durch eine Schamotteplatte vom Heizraum getrennt ist. Die Schamotteplatte füllt in ihrer Breite den mit Schamotte ausgemauerten Mantel des Ofens nicht aus, vielmehr bleibt beider-

Digitized by Google

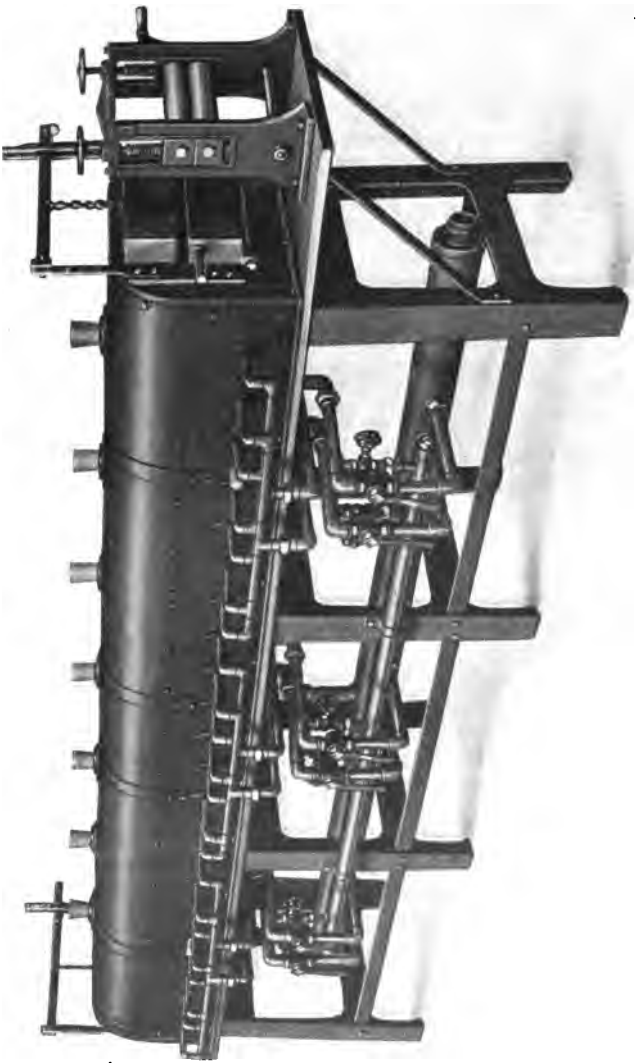


Fig. 68. Gas-Plattenglühofen zum Glühen und Härten von Stahlbändern u. ä.

seits ein Spalt offen, durch den die Hitze aus dem Verbrennungsraum in den Heizraum eintreten kann. Die Abgase ent-

Digitized by Google

weichen durch die in der Decke des Ofens angeordneten Öffnungen.

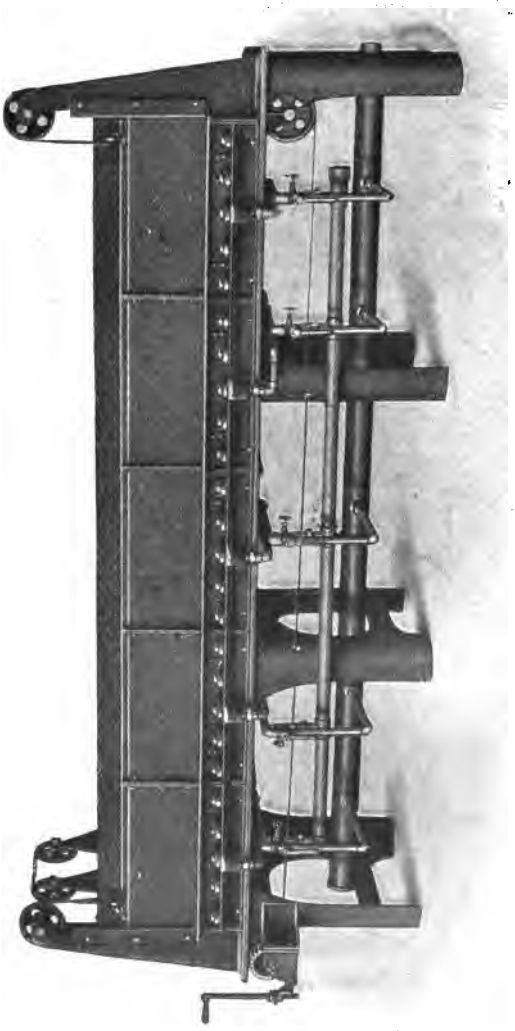


Fig. 69. Gas-Plattenglühofen zum Glühen und Härten dünnwandiger Stahlrohre.

Der Ofen wird angezündet, indem man das Luftventil öffnet, brennendes Papier in das Innere der Muffel bringt und darnach

Digitized by Google

erst den Gashahn langsam öffnet. Die Brenner sollen im Betriebe mit einer stetigen blauen Flamme brennen.

Zum gleichmäßigen Glühen oder Härten für dünne, lange und breite Bandstahlsorten, für Zugfedern, Bandsägen, Gattersägen und eine Menge andere aus endlosen Bändern geschnittene und gestanzte, gebogene oder verkröpfte Werkstücke werden Sonderkonstruktionen verwendet, wie eine solche Fig. 68 zeigt. Das Innere wird durch die Gasfeuerung auf gleichmäßiger Tem-

Fig. 70. Automatische Gas-Härtevorrichtung für Metallbandsägeblätter.

peratur gehalten, während das Band sowohl beim Ein- wie beim Auslaufen durch Walzen geführt wird. Die Geschwindigkeit für den Durchgang der Werkstücke durch den Heizraum wird so geregelt, daß sie den Heizraum verlassen, wenn sie die richtige Temperatur erreicht haben. Das Härten erfolgt unmittelbar vor dem Austritt. Die Fig. 68 bis 71 zeigen die Ausführung einiger Gas-Härteöfen für Sonderzwecke nach Ausführungen der Firma de Fries, A.-G.

Eine besondere Ausführungsform der Gasöfen zum Glühen und Vergüten bilden die in neuester Zeit in Aufnahme gekommenen zylindrischen Vertikalöfen mit Gasfeuerung (Fig. 72 bis 74), in denen alle solche Stahlteile vergütet, gehärtet oder

Digitized by Google

geglüht werden sollen, die infolge ihrer langen Form bei der Erwärmung Neigung zum Verziehen oder sonstigen Formveränderungen zeigen, also Rohre (Torpedokessel, Geschützrohre, Schrumpfrohre, Hohlachsen usw.), Wellen (Kurbelwellen für Flugzeuge, Automobile u. ä., Achsen, Pleuelstangen usw.), Hohlkörper aller Art, lange Scherenmesser. Die kleinste Ausführungsform der Vertikalöfen ist noch geeignet für Werkzeuge (Stehbolzengewindebohrer, Ziehdorne, Spiralbohrer, lange Messer u. dgl. m.) aus Kohlenstoffstahl oder Schnellstahl (Fig. 73).

Fig. 71. Automatische Gas-Härte-, Richt- und Anlaßvorrichtung für Bandstahl usw.

Der Vertikalofen selbst muß so beschaffen sein, daß man in der Lage ist, die in Betracht kommenden Gegenstände ihrer Form, ihrem Materiale und der späteren Beanspruchung entsprechend zu behandeln. Dazu ist in erster Linie eine durchaus gleichmäßige Erwärmung des ganzen Heizraumes erforderlich mit möglichst geringen Temperaturunterschieden, nicht größer als $\pm$ 5° C. Ebenso wichtig ist es, die durch die Haltepunkte bestimmten Temperaturen nicht nur genau einzustellen, sondern auch während der ganzen Dauer des Glühprozesses auf gleicher Höhe zu halten. Hieraus ergibt sich die weitere Forderung, daß die Temperatur im Heizraum jederzeit zuverlässig festgestellt werden kann; die Prüfung durch das Auge des Härters ist als unzuverlässig zu verwerfen. Damit

Digitized by Google

kommt hier nur die Temperaturmessung durch das Pyrometer möglichst mit aufschreibenden Temperaturanzeigern in Frage; sie gestatten auch nachträglich die Glühperiode nachzuprüfen und dadurch vielleicht entstandene Fehlerquellen zu entdecken und zu beseitigen.

Für die Beheizung der Vertikalöfen muß bei Fortfall der teueren und einem großen Verschleiß unterworfenen Muffeln ein Brennstoff gewählt werden, der das Material des Glühgutes weder durch Stichflammenbildung, noch durch Abgase mit schädlichen Beimengungen ungünstig beeinflußt.

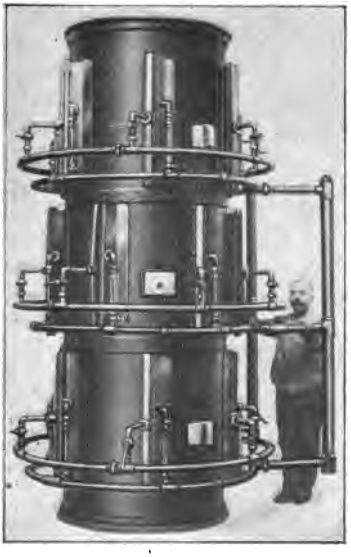


Fig. 72. Zylindrischer Vertikalofen mit Beheizung durch Leuchtgas oder Wassergas.

Fig. 72 zeigt einen zylindrischen Vertikalofen mit Beheizung durch Leuchtgas oder Wassergas. Der Ofen besteht aus starken, je 1 m hohen Blechzylindern, die im Inneren durch feuerfeste Formsteine ausgemauert sind. In diese Zylinder sind die Brenner mit tangential eintretenden Düsen eingebaut. Je nach dem verlangten Durchmesser des Heizraumes ist auf den Umfang eine entsprechende Anzahl derartiger Brenner — meistens sechs Stück — verteilt. Die Höhe der Öfen wird durch die Länge der zu behandelnden Arbeitsstücke bestimmt; es können beliebig viele solcher Zylinder — Schüsse — übereinander angeordnet werden. Die Brenner eines jeden dieser Schüsse sind durch gemeinsame Gas- und Windverteilungsringe miteinander verbunden. Bei jedem Brenner kann die Gas- und Windzuführung durch Ventile und Hähne eingestellt und geregelt werden. Die Gas- und Windverteilungsringe der einzelnen Schüsse sind dann an senkrecht angeordnete Zuführungsrohre für Gas und Wind angeschlossen.

Digitized by Google

In jedem Schuß sind zwei verschließbare Anzündeöffnungen angebracht, von denen je eine gleichzeitig als Einführungsöffnung für die Pyrometer vorgesehen ist. Der unterste Schuß ist durch einen starken, ebenfalls mit feuerfesten Steinen ausgekleideten Boden abgeschlossen. Der oberste Schuß erhält die Einführungsöffnungen sowie einen Deckel mit einer Aussparung, um die Aufhängestange durchzulassen. Der Einbau des Ofens erfolgt so, daß er in einer Grube versenkt steht und die Eingangsöffnung nur wenig über Hüttenflur hinausragt. Eine bequeme Bedienung und Beobachtung der einzelnen Zonen wird durch eine in die Grube eingebaute Arbeitsbühne mit verschiedenen Plattformen je nach der Länge des Ofens ermöglicht.

Das zur Beheizung des Ofens verwandte Leuchtgas, Koksofengas oder Wassergas wird mit einem Leitungsdruck von 20 bis 60 mm WS oder auch höher den Brennern zugeführt und dort mit einem gleichmäßigen Windstrome von 800 bis 1000 mm WS gemischt. Durch Einstellen der Gasventile und Windhähne kann eine reduzierende oder vollständig verbrennende Flamme jeder gewünschten Stärke eingestellt werden. Die Einrichtung der Brennerdüsen bedingt jedoch eine gewisse Begrenzung der Temperatur, so daß man unterscheidet: Glühöfen mit einer Heizgrenze von 400 bis 700° C und Härteöfen mit einer Heizgrenze von 700 bis 1000° C oder höher.

Fig. 73. Zylindrischer Gas-Muffelofen zum Härten von Stehbolzengewindebohrern u. ä.

Digitized by Google

Die zu erwärmenden Gegenstände werden mit dem Kran in den Heizraum eingefahren und in passende Lagerböcke auf dem Ofen abgehängt. Die tangential eintretenden kleinen Stichflammen streichen an der Schamottewandung vorbei und erzeugen einen lebhaften Hitzewirbel um das Arbeitsstück. Nach erfolgter Durchwärmung des Heizraumes sind diese Stichflammen

Fig. 74. Zylindrischer Gas-Muffelofen für Kreismesser.

vollständig verschwunden, so daß das Arbeitsstück in der reinen, klaren Hitze von großer Gleichmäßigkeit hängt. Infolge des hohen Winddruckes von 800 bis 1000 mm WS ist der Hitzewirbel sehr stark und es erübrigt sich daher ein Drehen der Arbeitsstücke, wie es bei den früheren Muffelöfen erforderlich war. Infolge der guten Ausnutzung der Heizgase ist eine Absaugevorrichtung oder Anschluß an den Schornstein nicht erforderlich.

Digitized by Google

Leuchtgas zur Beheizung von Vertikalöfen kommt da in Frage, wo der Preis so bemessen ist, daß sich die Beheizungskosten nicht zu hoch gestalten, und zwar kann man hierbei eine obere Preisgrenze von etwa 8 bis 9 Pfennig für 1 m^3 annehmen. Wird diese Grenze überschritten, oder ist Leuchtgas nicht vorhanden, ist Wassergas zu wählen, dessen Gestehungskosten 2,0 bis 3,5 Pfennig für 1 m^3 bei 2500 WE/m^3 betragen. Weitere Ausführungen zeigen Fig. 73 und 74.

c) Glüh- und Härteöfen mit Ölfeuerung.

Wie schon unter b) bei den Öfen mit Gasfeuerung gesagt worden ist, besteht der wesentliche Vorzug der mit Öl geheizten Öfen darin, daß auch bei diesen die Temperatur während jeder beliebigen Zeitdauer auf derselben Höhe, d. h. also konstant gehalten werden kann; ein weiterer, der sie für die Sonderzwecke der Härterei geeignet erscheinen läßt, ist ihre Verwendbarkeit überall da, wo kein Gas zur Verfügung steht.

Die verwendeten Öle sind die unter der Bezeichnung: Teeröl, Massuth, Rohöl, Blauöl usw. in den Handel kommenden Heizöle, die in 1 kg etwa 9500 Wärmeeinheiten (abgekürzt WE) enthalten, während Leuchtgas in 1 m^3 etwa 4800 WE besitzt.

1. Teeröl: Es ist von grünbraun bis dunkelbraúner Farbe, hat kräftigen Teergeruch, ein spezifisches Gewicht von im Mittel 1,04 bis 1,06, Flammpunkt nicht unter 65° C und ist bei gewöhnlicher Temperatur dünnflüssig[1]).

Das Steinkohlenteeröl ist ein Destillationserzeugnis des Steinkohlenteers, der sich bei der Verkokung der Kohle in Koksöfen oder in Retorten abscheidet.

Infolge des sauren Charakters der Teeröle dürfen bei ihrer Verwendung gewisse Vorsichtsmaßregeln nicht außer acht gelassen werden:

Maschinen- oder Brennerteile, wie Ventile, Pumpen und Düsen, bei denen auch eine geringe Abnutzung des Materiales nachteilig ist, dürfen nicht aus Kupfer, Zink oder deren Legierungen hergestellt werden, sondern zweckmäßig aus Nickel oder Nickelstahl mit 25 v. H. Nickel. (Für Dieselmotore genügt

[1]) Vgl. auch »Die flüssigen Brennstoffe« von Dr. L. Schmitz; Verlag von Julius Springer, Berlin, 1912.

Digitized by Google

dichter Grauguß.) Rohrleitungen und Vorratsbehälter können aus den üblichen Materialen bestehen; das Dichtungsmaterial für Flanschen u. ä. ist vorsichtig auszuwählen. Denn Teeröl zersetzt die meisten Stoffe vegetabilischer, d. h. pflanzlicher Herkunft und Zusammensetzung, sie werden nach einiger Zeit zerstört, die Dichtungsstellen undicht.

So empfiehlt es sich, wenn irgend angängig, metallische Dichtungsmittel zu benutzen. Bei Verwendung von Metallschläuchen haben sich nur die ganz aus Metall ohne Gummi- oder ähnlicher Zwischenlage hergestellten bewährt. Die Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse empfiehlt als Dichtungsmaterial für Ölleitungen Pappdeckel oder Asbest in Leim getränkt.

Ferner ist der Naphthalingehalt des Teeröles zu beachten. Bei starken Temperaturschwankungen, plötzlich eintretender Winterkälte, treten Ausscheidungen von Naphthalin im Öle auf, die irrtümlich als Schmutz angesehen werden. Dieses wertvolle Heizmaterial kann durch Erwärmen auf etwa 60° C und kräftiges Umrühren wieder in Lösung gebracht werden. Sollte der größte Teil des überstehenden Öles bereits verbraucht sein, so bewahrt man solche Naphthalinausscheidungen auf und setzt sie frischem Teeröl nach und nach zu.

Der Verkauf des größten Teiles der deutschen Teerölproduktion liegt in den Händen der Verkaufsvereinigung für Teererzeugnisse, Essen-Ruhr. Die Erzeugung betrug im Jahre 1904 150000 t, im Jahre 1912 schätzungsweise 500000 t.

Der Transport des Teeröles erfolgt in Kesselwagen und Eisen- oder Holzfässern. Der Bezug in Kesselwagen stellt sich wesentlich billiger als der in Fässern.

Zur Erzielung einer vollkommenen Verbrennung sind etwa 10 m^3 Luft für 1 kg notwendig.

2. Masut: Hierunter versteht man die nach Abtreiben des Gasöles aus dem Erdöl verbleibenden Rückstände, weil es vielfach unlohnend ist, aus diesen Schmieröl, Paraffin u. dgl. herauszuarbeiten.

Für Deutschland haben diese Brennstoffe kein Interesse, da bisher ein sehr hoher Einfuhrzoll darauf ruhte.

Der Heizwert beträgt 10500 WE.

Digitized by Google

3. Rohöl: Als Erdöl, Rohöl, Rohpetroleum oder Naphtha bezeichnet man allgemein ein Gemisch von Kohlenwasserstoffen, flüssig in der Erde vorkommender brennbarer Produkte. Als Beimengungen kommen Schlamm, Sand und Wasser vor, die abzuscheiden sind; auch der Schwefelgehalt ist zu beachten.

Gefunden wird Erdöl in fast allen Ländern. Die Gewinnung geschieht durch Bohren von Brunnen, aus denen es entweder selbst nach Art artesischer Brunnen ausströmt oder durch Pumpen oder durch Schöpfen gefördert wird.

Das spezifische Gewicht soll bei 15° C zwischen 0,85 und 0,96, der Flammpunkt nicht unter 60° C liegen; der Heizwert darf nicht unter 10000 WE für 1 kg betragen, die theoretische Luftmenge für 1 kg Öl ist 10,5 m^3.

4. Blauöl: Gasöl, Blauöl, Mittelöl oder Grünöl ist ein Destillationsprodukt des Erdöls. Der Heizwert beträgt etwa 9800 bis 10000 WE, der Luftbedarf etwa 11 m^3 für 1 kg.

Teer, Masut und Rohnaphthalin müssen vorgewärmt werden, weil ihre Verwendung in Glühöfen nur dann möglich ist, wenn sie in fein zerstäubtem Zustande eingeblasen werden.

Alle flüssigen Brennstoffe sind zu zerstäuben und zu vergasen. Ersteres erfolgt durch gepreßte Luft, die, durch eine regulierbare Düse strömend, gleichzeitig eine vollkommen rauch- und rußfreie Verbrennung herbeiführt. Entsprechendes Einstellen der Regelvorrichtung gestattet Erzielung verschieden hoher Wärmegrade.

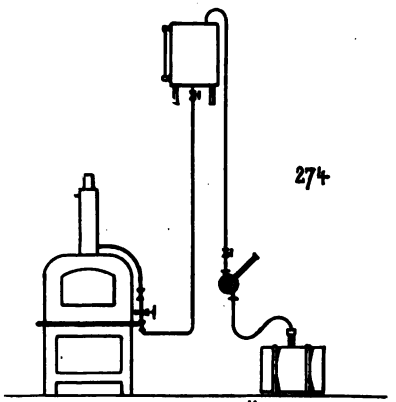


Fig. 74a. Ofen mit Ölfeuerung.

Das Öl muß dem Brenner zufließen. Der Ölbehälter ist daher hochzustellen, eine kleine Flügelpumpe mit Saugschlauch und Saugsieb ermöglicht bequemes Füllen aus den Ölfässern. Ein Ölstand zeigt den Verbrauch des Öles aus dem Ölbehälter an, so daß für rechtzeitiges Nachfüllen Sorge getragen werden kann, Fig. 74a.

Digitized by Google

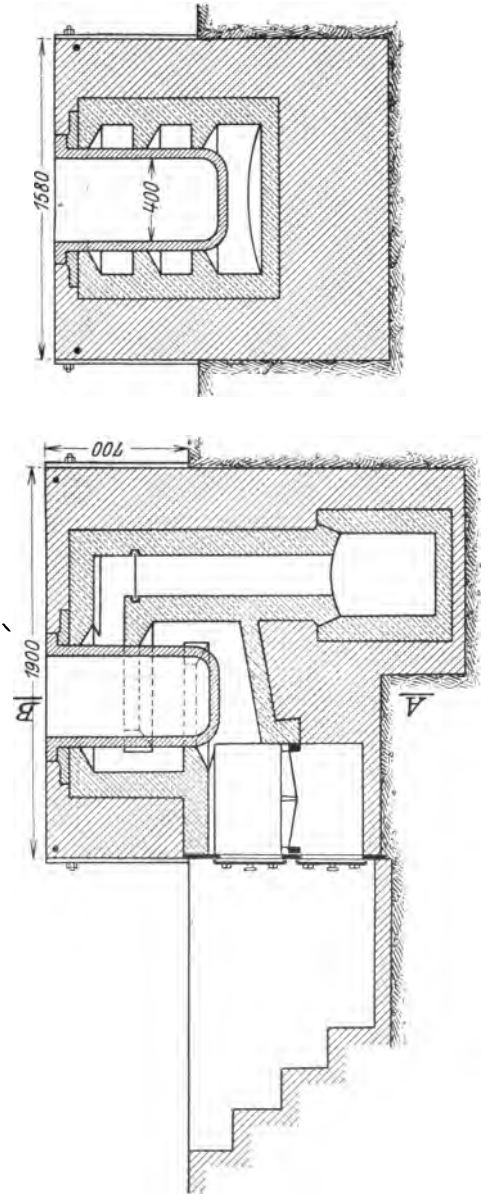


Fig. 75. Bleibad-Härteofen mit Koksfeuerung.

d) Blei- und Salzbadhärteöfen.

Auch im Muffelofen ist der Zutritt der Luft zum Werkstück nicht ganz zu vermeiden; durch die direkte Berührung des Werkzeuges mit der Muffelwandung und ungleichmäßiger Erwärmung derselben kann es auch in der Muffel ungleichmäßig erhitzt werden, namentlich dann, wenn der Muffelraum verhältnismäßig klein ist.

Zum Härten unter absolutem Luftabschluß erwärmt man die Werkzeuge entweder

a) in einem Bade geschmolzener Metalle oder

b) in einem Bade geschmolzener Salze von bestimmter Schmelztemperatur.

Da ferner eine große Zahl von

Digitized by Google

Werkzeugen beim Härten nur teilweise zu erwärmen sind, wie beispielsweise Spiralbohrer, Reibahlen, Gewindebohrer, Scheren, Stechbeitel u. a. m., so läßt sich dies durch mehr oder weniger tiefes Eintauchen begrenzen.

Schmelzkessel: Sie bestehen aus bestem feuerbeständigem Stahlguß oder Graphit, letzterer für Bäder zum Härten von Schnellstahl, weil Stahlguß bei den erforderlichen höheren Temperaturen hier nicht standhält.

Die Erwärmung der Schmelzkessel geschieht durch einen milde Hitze gebenden Koks oder mittels Holzkohle, die Heizgase führt man zweckmäßig spiralförmig um den Tiegel herum und läßt sie oben abziehen (Fig. 75).

Bequemer und sauberer sind jedoch die mit Gas geheizten Bleibadhärteöfen. Der Gaseintritt erfolgt auf zwei einander gegenüberliegenden Seiten des Ofens, die Brenner sind senkrecht angeordnet, so daß eine gleichmäßige Erwärmung des gußeisernen Tiegels erzielt wird. Bemerkenswert ist, daß die Ofen so-

Fig. 76. Gasofen zum Härten im Bleibad mit Windvorwärmung.

Fig. 77. Gasofen zum Härten im Bleibad ohne Windvorwärmung.

wohl mit als auch ohne Windvorwärmung gebaut werden (Fig. 76 u. 77). Die Temperaturkontrolle hat durch Pyrometer zu erfolgen.

Digitized by Google

Das Bleibad.

Verwendet wird reines Weichblei ohne alle Zusätze, dessen Schmelzpunkt bei etwa 336° C liegt. Da es bis ungefähr 750° C überhitzt werden muß, um die nötige Härtetemperatur zu erzielen, so ist geschmolzenes Blei an der Oberfläche starker Oxydation ausgesetzt, die Verluste durch Verdampfen sind groß. Um diese und damit die Oxydation des Bleibades tunlichst zu vermeiden, streut man auf seine Oberfläche eine etwa 2 cm dicke Schicht fein gepulverter Holzkohle. Der gesundheitsschädliche Bleidampf ist durch ein Abzugsrohr ins Freie zu führen.

Nachteile des Bleibades: Bei Verwendung unreinen, schwefelhaltigen Bleies gibt dieses einen Teil des Schwefels an den Stahl ab, es entstehen die bekannten Weichflecken. Man kocht deshalb frisches geschmolzenes Blei vor dem Gebrauche einige Stunden aus.

Vor dem Eintauchen sind die zu härtenden Werkzeuge von jeglicher Feuchtigkeit zu befreien, Öl und Fett müssen abgebrannt oder mit Benzin oder Alkohol abgewaschen werden. Geschieht dies nicht, so wird durch die entstehenden Dämpfe das flüssige Blei explosionsartig emporgeworfen, verspritzen und die Arbeiter verletzen.

Blei bleibt in den Vertiefungen der Werkzeuge, in Ecken, an Zähnen, z. B. bei Schneidbohrern u. ä., leicht haften, verhindert an diesen Stellen beim Ablöschen die Härtung, das Werkzeug bleibt also stellenweise weich. Um dies zu vermeiden, bestreicht man die von Öl und Fett sorgfältig gereinigten Werkzeuge mit einer Mehlpappe oder einem Brei, bestehend aus

1 Teil fein gepulverter Holzkohle, Lederkohle, Klauenmehl,
1 Teil Roggenmehl,
1 Teil Kochsalz,

angerührt mit einer gesättigten Lösung von Kochsalz in Wasser. Die mit diesen Mischungen bestrichenen Werkzeuge trocknet man sorgfältig und langsam, ehe man sie in das geschmolzene Blei eintaucht.

Ein anderes Mittel ist folgendes: Man bestreicht die Werkstücke mit Leinöl, bestreut sie dann mit Kienruß und trocknet sie.

Digitized by Google

Die zu härtenden Stücke sollen vor dem Eintauchen in das flüssige Blei vorgewärmt werden.

Die Zusätze üben eine zementierende Wirkung auf die Oberfläche des Stahles aus. Vor dem Eintauchen in die Härteflüssigkeit ist der Überzug durch leichtes Beklopfen zu entfernen.

Wird die Temperatur des Metallbades möglichst genau auf gleicher Höhe wie die Härtungstemperatur gehalten, was durch ein Pyrometer ständig zu kontrollieren ist, so laufen auch bei längerem Eintauchen des zu erhitzenden Werkzeuges einzelne dünnere Teile desselben keine Gefahr, überhitzt zu werden; es findet also eine gleichmäßige Erwärmung ohne Glühspanbildung statt.

Fig. 78. Gasofen zum Härten im Bleibade mit rechteckigem Tiegel.

Zur Erwärmung von Schnellstahl ist das Bleibad nicht geeignet, weil bei der hier notwendigen höheren Härtetemperatur das Blei verdampft.

Die zu härtenden Werkzeuge werden einzeln oder gruppenweise eingetaucht. Da nun Blei schwerer ist wie Stahl, so haben die Werkstücke das Bestreben, zu schwimmen; der Auftrieb wird durch schwere Zangen oder sonstwie ausgeglichen.

Das Salzbad.

Für das Härten und Anlassen sind in neuester Zeit Salzbäder immer mehr in Aufnahme gekommen. Die Mischung der einzuschmelzenden Salze ist keine bestimmte, sie hängt in der Hauptsache vom Verwendungszwecke ab. Leicht schmelzbare Salze, die rasch verflüchtigen, und solche, die infolge ihrer chemischen Zusammensetzung schädliche Einflüsse ausüben, sind ungeeignet. Kochsalz bildet den Hauptbestandteil der Mischung, da es billig ist und sich vorzüglich eignet; Zusatz von Soda führt rasches Schmelzen herbei, Zusatz von Kalisalpeter erhöht die Leichtflüssigkeit der geschmolzenen Masse, Zusatz von chrom-

Digitized by Google

saurem Kali oder Borax verbessert die Eigenschaften des Schmelzbades, Zusatz von gelbem Blutlaugensalz (Ferrozyankalium) verhindert die schädliche Einwirkung des Salpeters durch Entkohlung des Stahles. Für hohe Temperaturen eignet sich Chlorbarium. Gelbes Blutlaugensalz übt eine stark zementierende Wirkung aus, es wird beim Härten von Werkzeugen aus gewöhnlichem Werkzeugstahl mit Vorteil verwendet, bei Schnellstahl ist es überflüssig.

Fig. 79. Zyankali-Gas-Härteofen.

Giftige Dämpfe, die aus dem Bade bei Zusatz von Kalisalpeter und Zyankali aufsteigen, müssen abgeführt werden (Fig. 79).

Die Erwärmung ist dem zu härtenden Stahle anzupassen; bei gewöhnlichem Werkzeugstahle beträgt die Temperatur 750° bis 850° C, bei Schnellstahl 1000° bis 1200° C; in letzterem Falle werden schwerflüssigere Salze genommen. Die Temperaturmessung hat durch Pyrometer zu geschehen. Das durch Verdampfung abnehmende Bad ist von Zeit zu Zeit frisch aufzufüllen; Aufstreuen von gepulverter Holzkohle mindert die Verdampfung.

Wie bereits beim Bleibade vorgeschrieben, sind alle zu härtenden Gegenstände vor dem Eintauchen in das Salzbad von Feuchtigkeit, Öl und Fett sorgfältig zu befreien; sehr kalte Gegenstände wärmt man vor dem Eintauchen an.

Bleibt an den glühenden aus dem Salzbade gehobenen Werkstücken Salz haften, so wird es beim Eintauchen in Wasser sofort abspringen.

Im geschmolzenen Salze erwärmte Werkzeuge behalten ihre metallisch reine Oberfläche nach dem Härten bei, sie bleiben blank. Waren sie vor dem Härten mit einer Oxydschicht bedeckt bzw. rostig, so zeigen sie nach dem Härten metallisch reine Flächen.

Die zu härtenden Werkstücke werden in Drahtschlingen

Digitized by Google

hängend oder auf Sieben liegend eingetaucht. Soll nur eine teilweise Härtung stattfinden, so werden sie mit einer gut trockenen Zange eingehalten.

Fig. 80. Mit Gas geheizter Salzbad-Härteofen.

Der Schmelzkessel besteht aus feuerbeständigem S.-M.-Stahlguß oder aus Graphit. Die Beheizung kann durch feste Brennstoffe erfolgen oder mit Gas (Fig. 80). In neuester Zeit haben elektrisch geheizte Salzbad-Härteöfen sich infolge ihrer großen Vorzüge rasch Eingang verschafft.

Digitized by Google

Elektrisch geheizter Salzbad-Härteofen der A. E.-G. (Fig. 81 bis 84.)

Die Anwendung des elektrischen Stromes zum Erwärmen des Salzbades gestattet schnelles Erreichen sowie genaues Ein-

Fig. 81. Elektrisch geheizte Salzbad-Härteofen-Anlage der A. E.-G., Berlin.

stellen und Konstanthalten einer bestimmten Temperatur bis zu 1300° C.

Fließt durch einen dünnen Draht von irgendeiner Stromquelle aus — elektrische Batterie, Dynamomaschine — ein

Digitized by Google

elektrischer Strom, so wird der Draht beim Durchgang des Stromes erwärmt, und zwar wird die Erwärmung um so stärker

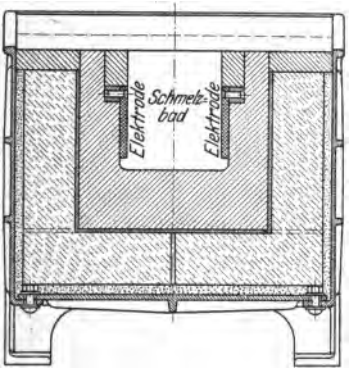


Fig. 82. Elektrisch geheizter Salzbad-Härteofen. Längsschnitt.

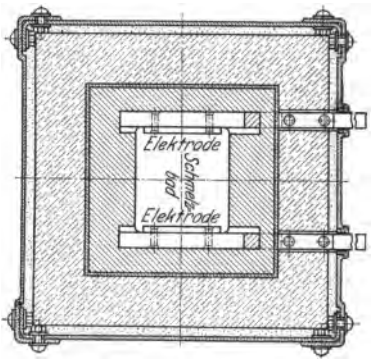


Fig. 83. Elektrisch geheizter Salzbad-Härteofen. Querschnitt.

sein, je länger der Stromdurchgang dauert. Die Wärmeentwickelung durch den elektrischen Strom ist abhängig von der Zeitdauer des Stromdurchganges, von der Größe des Widerstandes des erwähnten Drahtes (Leiters) und von der Stromstärke. Die Erwärmung des Leiters wächst im einfachen Verhältnisse mit dem Widerstande des Leiters und im quadratischen mit der durch diesen fließenden Stromstärke.

Für jeden Leiter gibt es nun eine gewisse Stromstärke, bei deren Durchgang er so stark erwärmt wird, daß er zum Glühen kommt. Damit eine gewisse Stromstärke den

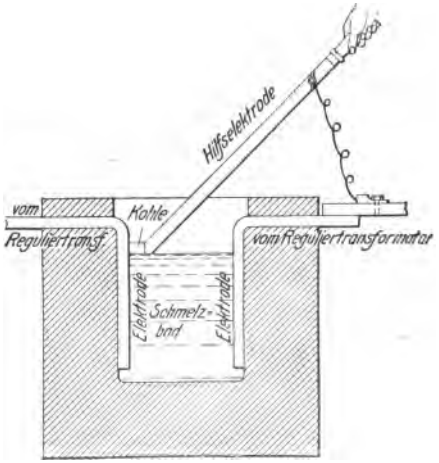


Fig. 84. Vorrichtung zum Schmelzen des Salzgemisches in einem elektrisch geheizten Salzbad-Härteofen.

Digitized by Google

Widerstand eines Leiters überwinden kann, muß zwischen den Endpunkten des letzteren ein ganz bestimmter Spannungsunterschied herrschen.

Der Vorteil der elektrischen Härtung besteht nun darin, während längerer Zeit eine Stromstärke von ganz bestimmter Größe zu erhalten. In anderer Weise kommt die Elektrizität hierbei nicht zur Geltung.

In einem mit feuerfestem Materiale, Schamotte, ausgemauerten eisernen Kasten ist der aus einem Stück hergestellte feuerfeste Tiegel zur Aufnahme des Schmelzgutes eingebaut.

An den einander gegenüberliegenden Innenwandungen sind zwei leicht auswechselbare schmiedeeiserne Platten als Elektroden angebracht, die den Strom — es kommt nur Wechselstrom zur Verwendung, um etwaige störende elektrolytische Einwirkungen zu vermeiden — in das Salzbad leiten. Die Elektroden sind durch Kupferschienen mit einem sogenannten Regelungstransformator verbunden, der die elektrische Energie auf niedrige Gebrauchsspannung umformt. Durch entsprechende Regulierung kann die durch das Schmelzbad durchfließende Stromstärke und damit, wie wir sahen, die Temperatur des Bades selbst in einfachster Weise geregelt werden.

Im Tiegel des Ofens zwischen den Elektroden befinden sich als Schmelzbad Metallsalze, und zwar Chlorbarium und Chlornatrium, für Schnellstahl nur Chlorbarium, die durch den elektrischen Strom in feurigflüssigen Zustand gebracht werden. In kaltem Zustande sind diese Metallsalze als „elektrische Leiter zweiter Klasse“ für den elektrischen Strom undurchlässig, während sie im feurigflüssigen Zustande vorzügliche Leiter werden. Die Einleitung der Schmelzung muß also mit einer Hilfselektrode und einem Stückchen Bogenlampenkohle erfolgen. Durch Zwischenschaltung zwischen eine Haupt- und die Hilfselektrode wird die Kohle weißglühend, wodurch das unmittelbar darunter liegende Salz geschmolzen wird. Durch langsames Fortbewegen der Hilfselektrode zur zweiten Hauptelektrode wird ein flüssiger Streifen durch das Bad gezogen, der Stromkreis ist damit geschlossen, das übrige Salz kommt zum Schmelzen. In etwa $^3/_4$ Stunden, je nach der Größe des Tiegels, ist der ganze Badinhalt geschmolzen.

Die Werkzeuge werden dadurch vorgewärmt, daß sie auf

Digitized by Google

dem Ofen ringsherum um das Schmelzbad auf der Herdbank liegen, wobei sie eine Temperatur erreichen, die die Einführung in das Schmelzbad, ohne ein Reißen befürchten zu müssen, ermöglicht.

Der Kraftverbrauch beträgt je nach der gewünschten Temperatur 15 bis 18 Kilowatt.

Die Messung der Temperatur geschieht durch ein Pyrometer.

3. Einrichtungen zur Erzeugung der erforderlichen Verbrennungsluft.

Beim gewöhnlichen Schmiedefeuer muß, damit die verwandten Brennstoffe möglichst ausgenutzt und die zum Erwärmen der Werkstücke erforderliche Hitze erzeugt werden kann, die nötige Verbrennungsluft durch einen Ventilator oder ein Rotationsgebläse zugeführt werden, da der gewöhnliche Schornsteinzug zur Unterhaltung einer lebhaften Verbrennung nicht ausreichend ist. Beim Schachthärteofen, Muffelofen und Doppelmuffelofen, sowie bei den mit festen Brennstoffen geheizten Blei- oder Salzbadhärteöfen genügt der Anschluß an einen Schornstein.

Alle mit Gas- oder Ölfeuerung betriebenen Härteöfen müssen Luft von einer bestimmten Pressung zugeführt erhalten, damit in möglichst kurzer Zeit der Ofen angeheizt werden kann und das Gas dauernd die erforderlichen Hitzegrade erzeugt bei möglichst geringem Gasverbrauch.

Zur Erzeugung der erforderlichen Preßluft dienen entweder Kapselgebläse, Ventilatoren oder Rotationsgebläse. Gemeinsam bei beiden Arten ist die Erzeugung eines gleichmäßigen Luftstromes. Der Antrieb erfolgt in der Regel von einem Vorgelege aus mittels Riemen. Der Ventilator wird vielfach beim Schmiedefeuer angewendet, während zur Erzeugung höherer Pressungen das Kapselgebläse weitgehende Aufnahme gefunden hat. Der Windkessel ist entweder am Gebläse oder, wie wohl meist der Fall, an jedem Gasofen einer, zur Erzeugung eines möglichst konstanten Luftstromes angeordnet (Fig. 85 bis 87).

Vom Gebläse wird die Preßluft in schmiedeeisernen Lei-

Digitized by Google

Fig. 85. Hochdruck-Kapsel-Gebläse bis zu 6000 mm Wassersäule ohne Windkessel.

Fig. 86.
Hochdruck-Rotationsgebläse.

Fig. 87. Hochdruck-Kapsel-Gebläse bis zu 6000 mm Wassersäule mit Windkessel.

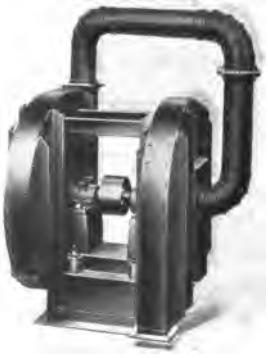


Fig. 88. Turboventilator für Riemenantrieb und zwei Druckstufen.

Digitized by Google

tungen zum Ofen geleitet; die Regulierung geschieht durch einen am Ofen in die Leitung eingebauten Hahn.

In neuerer Zeit werden auch Turboventilatoren verwendet, bei denen zur Erzielung des nötigen Druckes in der Leitung eine entsprechende Anzahl Druckstufen, meist zwei, angeordnet sind (Fig. 88).

Gasmesser. Bei den mit Gas geheizten Härteöfen ist der Einbau eines sogenannten Skala-Gasmessers an jedem Ofenbrenner von großem Vorteil, ermöglicht er doch nicht nur die ständige Kontrolle des Gasverbrauches und dadurch eine genaue Kalkulation der in jedem einzelnen Gasofen geleisteten Arbeit, sondern auch ein Einstellen und Festhalten jeder gewünschten Temperatur im Ofen bei einer Genauigkeit von $\pm$ 2 bis $\pm$ 3 v. H. Der Skala-Gasmesser besteht aus einer geeichten konischen Glasröhre, in der ein durch das hindurchströmende Gas gehobener Schwimmer in der Höhe sich einstellt, welche der jeweils durchtretenden Gasmenge entspricht. Der Schwimmer ist so ausgebildet, daß er völlig frei im Glasrohre gleitet, ohne dessen Wandungen zu berühren (Fig. 89). Den Einbau am Ofen zeigt Fig. 89a.

Fig. 89. Skala-gasmesser.

Fig. 89a. Einbau des Skalagas-messers am Gasofen.

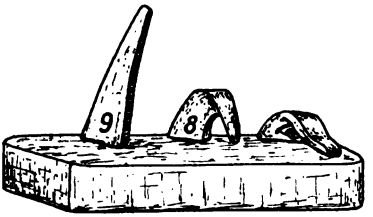
Digitized by Google

Ist daher für eine bestimmte Zusammensetzung des Gases der Gasverbrauch der einzelnen Brenner bei einer bestimmten Temperatur im Heizraum durch den Skala-Gasmesser einmal festgestellt, so kann diese ohne weiteres immer wieder eingestellt werden. Von besonderer Wichtigkeit ist er für den Betrieb der zylindrischen Vertikalöfen, da hierdurch deren gutes Arbeiten möglich wurde.

4. Einrichtungen zur Temperaturmessung.

Es ist völlig verfehlt, bei dem heute allgemein angewendeten wertvollen Stahlmateriale die Temperatur des erhitzten Stahles lediglich durch bloße Schätzung mit dem Auge zu bestimmen, denn auch das geübte Auge täuscht sich, weil äußere Einflüsse, wie Beleuchtung, Witterung usw. mitbestimmend einwirken und Temperaturüberschreitungen von 30° bis 50° C schon Schaden bringen können.

Ein sehr einfaches und dabei billiges Mittel zum Messen der Temperatur sind die sogenannten Segerkegel (Fig. 90). Es



Nr. 9. Zu niedrige Temperatur. | Nr. 8. Richtige Temperatur. | Nr. 7. Zu hohe Temperatur.

Fig. 90. Segerkegel.

sind keramische Schmelzkörper in Form abgestumpfter Pyramiden, die eine aus 59 Nummern bestehende Reihe systematisch aufgebauter, an Schwerschmelzbarkeit stetig zunehmender Silikatgemenge bilden, die für die niedrigen Nummern eine glasurartige, für die höheren eine tonartige Zusammensetzung besitzen und umfassen die Temperaturen von etwa 600° bis 2000° C. Die Segerkegel erweichen mit dem Fortschreiten der

Digitized by Google

Hitze allmählich mehr und mehr und neigen schließlich ihre Spitze. Sie gelten als geschmolzen, wenn die sich umbiegende Spitze die Unterlage leicht berührt (Fig. 90). Dieser Zeitpunkt ist stets mit Genauigkeit zu erkennen.

Da die Segerkegel Silikatgemische sind, so besitzen sie keinen in allen Fällen und unter den verschiedenen Erhitzungsbedingungen bestimmten stets gleichbleidenden Schmelzpunkt. Es ist daher nicht möglich, für die Segerkegel Schmelzpunkte nach Celsiusgraden allgemein anzugeben. Zur genauen Messung von Temperaturen nach Celsiusgraden eignen sie sich daher im allgemeinen nicht, sondern nur in den Fällen, wenn die Schmelzpunkte der einzelnen Segerkegel für bestimmte, genau wieder zu erhaltende Erhitzungsbedingungen bekannt sind. Die Angabe der Schmelztemperatur der Segerkegel in Celsiusgraden kann nur ganz annähernd stattfinden.

Unter diesen Voraussetzungen enthält die folgende Aufstellung die Nummern der Segerkegel und die annähernden Mittelwerte ihrer Schmelzpunkte in Celsiusgraden.

Als Angabe für den erreichten Brenngrad genügt vollständig die Nummer des geschmolzenen Segerkegels. Wird beispielsweise mitgeteilt, in einem Ofen schmilzt Segerkegel 12, so ist dies eine ganz bestimmte Angabe über die erreichte Hitze, wenn auch eine andere als die gewohnte nach Celsiusgraden.

Gebrauchsanweisung: Um die Segerkegel beim Einsetzen und Niederschmelzen vor dem Umfallen zu schützen, werden sie mit ihrer Grundfläche in hinreichendem Abstande, etwa 25 bis 30 mm, auf eine gebrannte Tonplatte mit dickbreiig angemachtem Ton festgeklebt, oder in einen feuchten, kleinen, flachen Tonballen etwa 3 bis 5 mm tief eingedrückt und die Ränder der feuchten Masse an die Segerkegel angedrückt. Für die niedrigen Nummern der Segerkegel genügt als Unterlage eine Platte bzw. ein Masseballen aus gewöhnlichem, leicht schmelzbarem Ton; für die höheren Nummern muß die Platte und der Masseballen feuerfest sein. Die Tonplatte oder der Tonballen ist am besten so groß zu wählen, daß die geschmolzenen Segerkegel noch auf der Platte u. dgl. aufliegen. Benutzt man einen feuchten Tonballen als Unterlage, so empfiehlt es sich, diesen nach dem Eindrücken der

Digitized by Google

Tabelle der Segerkegel.

022[1] . . . . . 600°	05a . . . . . 1000°	13 . . . . . 1380°
021 . . . . . 650°	04a . . . . . 1020°	14 . . . . . 1410°
020 . . . . . 670°	03a . . . . . 1040°	15 . . . . . 1435°
019 . . . . . 690°	02a . . . . . 1060°	16 . . . . . 1460°
018 . . . . . 710°	01a . . . . . 1080°	17 . . . . . 1480°
017 . . . . . 730°	1a . . . . . 1100°	18 . . . . . 1500°
016 . . . . . 750°	2a . . . . . 1120°	19 . . . . . 1520°
015a[2] . . . . . 790°	3a . . . . . 1140°	20[3] . . . . . 1530°
014a . . . . . 815°	4a . . . . . 1160°	26 . . . . . 1580°
013a . . . . . 835°	5a . . . . . 1180°	27 . . . . . 1610°
012a . . . . . 855°	6a . . . . . 1200°	28 . . . . . 1630°
011a . . . . . 880°	7 . . . . . 1230°	29 . . . . . 1650°
010a . . . . . 900°	8 . . . . . 1250°	30 . . . . . 1670°
09a . . . . . 920°	9 . . . . . 1280°	31 . . . . . 1690°
08a . . . . . 940°	10 . . . . . 1300°	32 . . . . . 1710°
07a . . . . . 960°	11 . . . . . 1320°	33 . . . . . 1730°
06a . . . . . 980°	12 . . . . . 1350°	

[1] Wird gesprochen: Nullzweiundzwanzig.

[2] Wird gesprochen: Nullfünfzehn a.

[3] Die Segerkegel 21 bis 25 werden nicht mehr hergestellt, weil ihre Schmelzpunkte zu nahe aneinander liegen.

Segerkegel, also vor dem Einbringen in den Ofen gut zu trocknen, da Feuchtigkeit den unteren Teil des Segerkegels aufweichen und dadurch Unannehmlichkeiten beim Schmelzen herbeiführen kann; es empfiehlt sich daher, einige Platten mit aufgesetzten Segerkegeln vorrätig zu halten.

Die Segerkegel werden so aufgestellt, daß sie durch ein Schauloch beobachtet werden können.

Um zu ermitteln, welche Segerkegel man zur Erzielung eines guten Brandes nötig hat, setzt man in den Ofen das erstemal diejenigen drei Nummern ein, von denen man annimmt, daß sie nach der obigen Aufstellung der im Ofen herrschenden Temperatur annähernd entsprechen. Sie müssen so mit Ziegeln oder Schutzplatten umstellt, von außen sichtbar, eingesetzt werden, daß sie keine Stichflamme erhalten. Nach einigen Versuchen gelangt man dahin, unter den drei eingesetzten Segerkegeln eine Nummer zu finden, die vorschriftsmäßig geschmolzen ist, d. h. so, daß die sich umbiegende Spitze

Digitized by Google

die Unterlage eben berührt, wie Nr. 8 in Fig. 94. Es ist dann in Zukunft meist nur nötig, die folgenden drei Segerkegel einzusetzen: denjenigen, der vorschriftsmäßig geschmolzen ist, den nächst niedrigeren und den nächst höheren, in dem Beispiel in Fig. 90 also die Nummern 7 bis 9. Von diesen dient Nr. 7 durch ihr Niederschmelzen als Warner für den bald eintretenden richtigen Hitzegrad. Das Umschmelzen der maßgebenden Nr. 8 muß aufmerksam beobachtet werden und Nr. 9 darf wohl etwas abgerundete Kanten aufweisen und etwas geneigt sein, muß aber als Maßstab für das Innehalten des Erhitzungsgrades stehen bleiben. Zu beachten ist, daß die Segerkegel bei jedem Einsatz denselben Platz erhalten und vor Stichflammen geschützt werden.

Elektrische Temperaturmesser und Temperaturfernschreiber.

Sie besitzen den großen Vorteil, daß man die Temperatur in beliebiger Entfernung von der zu messenden Stelle, gleichviel ob diese zugänglich ist oder nicht, ablesen und aufzeichnen kann. Für Temperaturen bis ungefähr 600° C wird das elektrische Widerstandsthermometer benutzt, während für Temperaturen über 600° bis etwa 1600° C das thermoelektrische Pyrometer in Frage kommt. Für die Messung von Temperaturen, die für den Härter von Wichtigkeit sind, kommen fast ausschließlich die letzteren zur Anwendung, weshalb sie ausführlicher behandelt werden sollen. In neuester Zeit wird auch das optische Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum wegen seiner Einfachheit und Handlichkeit vielfach verwendet, es wird daher am Schlusse dieses Abschnittes ebenfalls besprochen werden.

Die thermoelektrischen Pyrometer.

Ihre Wirkungsweise beruht auf folgendem Prinzip:

Lötet man zwei Drähte aus verschiedenen Metallen an einem Ende zusammen und erhitzt die Lötstelle, so entsteht ein elektrischer Strom, dessen Stärke für die beiden gegebenen Metalle von dem Temperaturunterschiede der Lötstelle und den beiden freien Drahtenden, der sogenannten kalten Lötstelle, abhängig ist. Man nennt diese Vorrichtung ein Thermoelement und die Art der Elektrizität, ihrem Ursprunge gemäß, Thermo-

Digitized by Google

Elektrizität. Je stärker man die Lötstelle erhitzt, um so stärker wird auch der elektrische Strom. Werden die beiden freien Drahtenden mit den Klemmen eines Meßinstrumentes, eines Galvanometers, verbunden, so wird der Zeiger desselben einen Ausschlag anzeigen, der um so größer sein wird, je stärker die Lötstelle erhitzt wird, je größer also der Temperaturunterschied zwischen der „heißen" Lötstelle und den beiden an die Klemmen angeschlossenen Drahtenden, der „kalten" Lötstelle, ist.

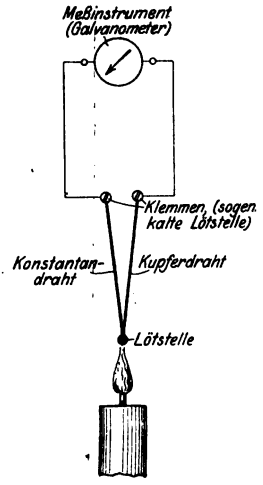


Fig. 91. Darstellung des Prinzipes eines Thermoelementes.

Die Größe des Galvanometerausschlages, d. h. also die Stärke der thermoelektrischen Spannung, kann auf einer angebrachten Skala abgelesen werden, und wenn diese unmittelbar in Temperaturgrade eingeteilt — geeicht — ist, ohne weiteres das Ablesen der an der heißen Lötstelle vorhandenen Temperatur ermöglichen (Fig. 91).

Die zur Verwendung bei den Thermoelementen kommenden Drähte müssen aus möglichst reinen Metallen hergestellt sein, da sonst die Konstanz der Thermokraft beeinflußt wird.

Für Arbeiten, bei denen die Temperatur nicht über 600° C steigt, kann ein Thermoelement benutzt werden, von dem der eine Draht aus Silber oder Kupfer, der andere aus Konstantan besteht; ein solches Element ist billig und leicht ersetzbar. Es findet Anwendung bei Anlaßbädern, Anlaßöfen. Für Temperaturen bis etwa 900° C finden Thermoelemente Verwendung, die aus schwerer schmelzbaren, nicht edlen Metallen bestehen, z. B. Eisen- und Konstantandraht von etwa 3 mm Durchmesser. Sie werden angewendet in Glühöfen, Blei- und Chlorkalium-Härtebädern. Zur Bestimmung höherer Temperaturen von etwa 1000° bis 1600° C kommen Thermoelemente aus Platin- und Platinrhodiumdraht nach Le Chatelier in Frage. Der Drahtdurchmesser beträgt im allgemeinen 0,4 bis 0,6 mm; dickere Drähte sind mechanisch widerstandsfähiger und ergeben wegen

Digitized by Google

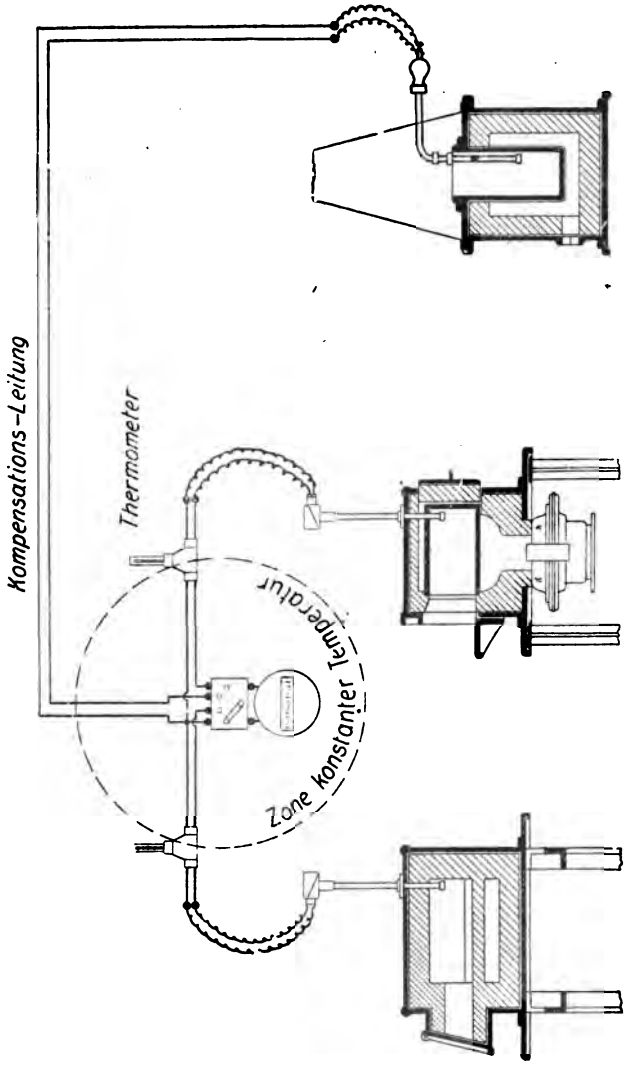


Fig. 92. Schematische Darstellung einer Härteanlage mit thermoelektrischer Meßvorrichtung.

ihres geringeren Ohmschen Widerstandes eine größere Meßgenauigkeit. Sie sind geeignet für Härtebäder, z. B. Chlorbarium.

Die freien Enden der Drähte der Thermoelemente, die kalten Lötstellen, müssen auf gleicher, möglichst niedriger und

Digitized by Google

unveränderlicher Temperatur gehalten werden, also nicht zu sehr von der normalen Raumtemperatur abweichen. Man kann diese Bedingungen ohne Schwierigkeit erfüllen, indem man die Elementdrähte so weit verlängert, daß sie dem Bereiche der Strahlung und der warmen Umgebung des Ofens entzogen sind. Das ist bei Thermoelementen aus unedlen Metallen leicht ausführbar, und bei ihnen ist deshalb die bisher angewandte künstliche Kühlung des Anschlußkopfes nicht mehr notwendig, so daß die Pyrometeranlage sich wesentlich vereinfacht (Fig. 92 und 93a bis 93e).

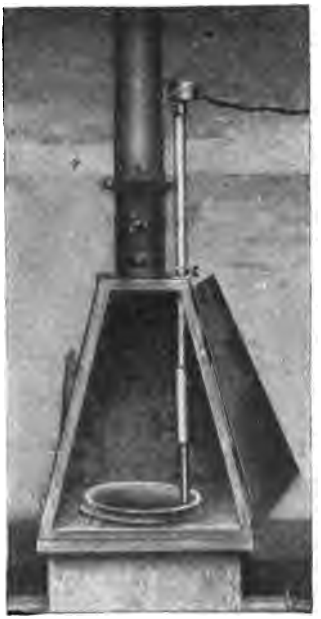


Fig. 93a. Bleibadhärteofen mit eingebautem Thermoelement. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Bei Edelmetall-Elementen, für genaue Messungen und wenn nur kurze Thermoelemente benutzt werden, sind die Elementköpfe vor Erwärmung zu schützen; es geschieht durch Wasserkühlung, indem am oberen Ende des Schutzrohres in unmittelbarer Nähe der Verbindungsstelle der beiden Drahtenden — kalte Lötstelle — mit der zum Galvanometer führenden Kupferdrahtleitung ein Kühlgefäß angeordnet wird, das in direkter Verbindung mit der Wasserleitung steht (Fig. 94).

Ein solcher Kühlkopf ist immerhin unbequem; einen Ersatz hat man für die Fernleitung in den Elementdrähten thermoelektrisch gleichwertigem Materiale, der sogenannten Ausgleichsleitung oder Kompensationsleitung, gefunden, die aus zwei Drähten, welche innerhalb gewisser Temperaturgrenzen gegeneinander dieselbe thermoelektrische Kraft haben, wie beispielsweise Platin gegen Platinrhodium, besteht.

Der Anschlußkopf für die Elementdrähte ist aus Hartporzellan oder aus Metall durchgebildet, der wasser- und staub-

Digitized by Google

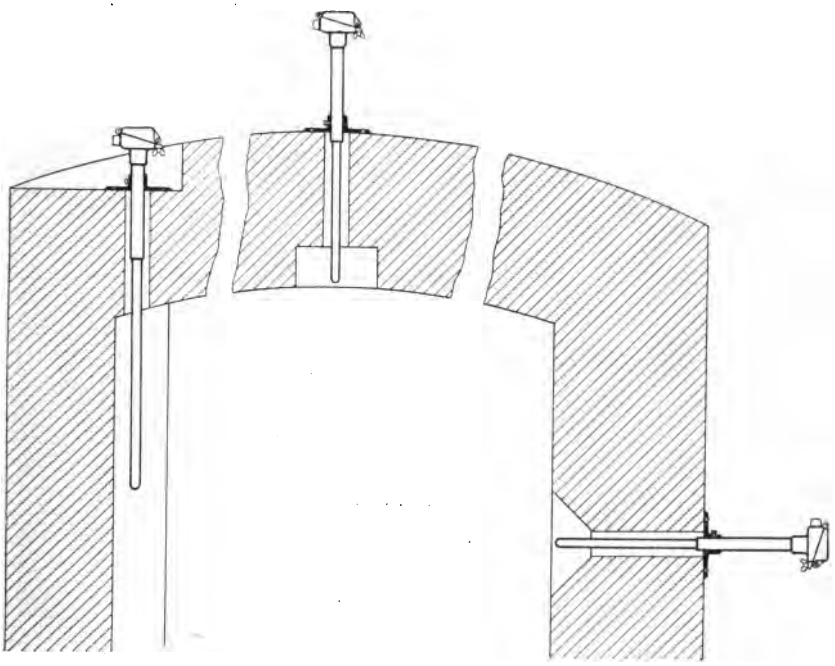


Fig. 93b.

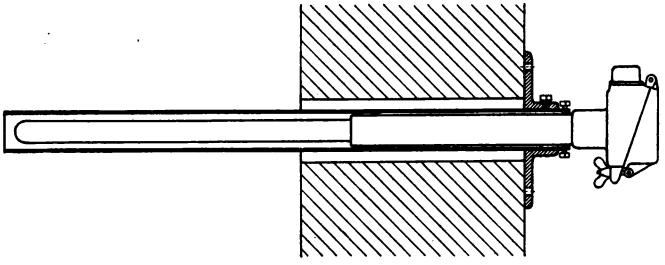


Fig 93c.
Verschiedene Ausführungen des Einbaues von Thermoelementen.
Fig. 93c mit offenem Gasrohr.

dicht geschlossen ist, wodurch die Anschlußklemmen vollständig geschützt sind. Ein solcher Anschlußkopf ermöglicht auch eine zweckmäßige Ausgestaltung der Leitungsverlegung in einem geschlossenen Rohrsystem.

Digitized by Google

Gerissene Thermoelementdrähte können im Notfalle durch sorgfältiges Ineinanderdrehen der Enden repariert werden; zuverlässiger ist es, die Bruchstelle in einer kleinen Sauerstoffflamme zu verschmelzen. Durch langsames Einführen der stumpf aufeinanderstoßenden Drahtenden in die Flamme bis zum beginnenden Schmelzen und darauffolgendes ruhiges Herausnehmen gelingt dies unschwer.

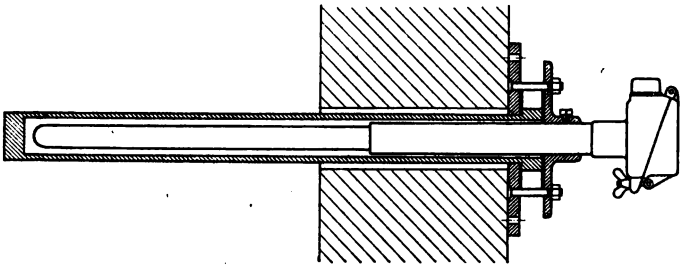


Fig. 93d. Schutz des Marquardtrohres durch ein Schamotterohr.

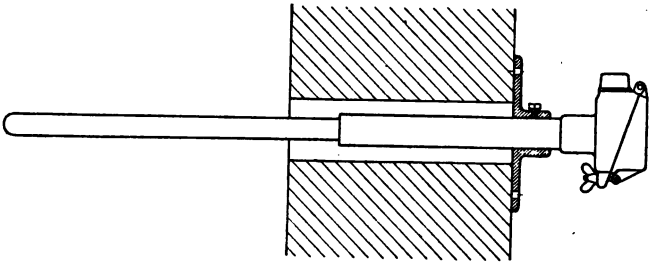


Fig. 93e. Thermoelement mit Quarz oder Marquardtschutzrohr.

Durch unsachgemäße Handhabung können die Thermoelemente leicht beschädigt werden; mit reduzierenden Gasen darf der ungeschützte Draht nicht in Berührung kommen, denn ein Strom von unverbranntem Leuchtgas, der auf die ungeschützten Drähte trifft, macht sie in wenigen Stunden außerordentlich brüchig, auch die Berührung mit Eisenoxyden und einigen Silikaten ist sehr schädlich. Wie alle Platingegenstände müssen die Thermoelemente vor Berührung mit Metallen oder metallischen Dämpfen, mit denen sie sich leicht legieren, streng geschützt werden.

Digitized by Google

Die Isolierung der Drähte gegeneinander geschieht dadurch, daß man sie durch kurze, doppelt durchbohrte Schamotte- oder Porzellanröhrchen führt, der Schutz gegen chemische Einflüsse wird durch eine Schutzverkleidung, die dem speziellen Verwendungszwecke anzupassen ist, gesichert (Fig. 93c bis 93e). Als Materialien für die Schutzrohre kommen in Frage:

Metallrohre: aus Stahl für Temperaturen bis etwa 1000° C, aus Nickel für Temperaturen bis 1100° C. Das Thermoelementschutzrohr besteht aus Marquardtscher Masse, welche sehr feuerbeständig, aber gegen rasche Temperaturwechsel sehr empfindlich ist. Direktes Einführen der Montierung in einen sehr heißen Raum ist deshalb zu vermeiden, sie muß immer erst genügend vorgewärmt sein (Fig. 93c).

Porzellanrohre: wenn dauernd hohe Temperaturen zu messen sind.

Schamotterohre: bei plötzlichem Temperaturwechsel und wenn Stichflammen auftreten (Fig. 93d).

Quarzglas: widerstandsfähig bei schroffstem Temperaturwechsel bis auf etwa 1400° C; geeignet für vorübergehende rasche Messungen (Fig. 93e).

Graphit: zur Messung der Temperatur geschmolzener Metalle.

Die Länge des Pyrometers ist so zu wählen, daß die Verbindungsklemmen nicht warm werden; der Kopf der Montierung soll mindestens 30 cm vom Mauerwerk entfernt sein.

Die Thermoelemente sollen, auch wenn sie mit Schutzverkleidungen umgeben sind, nicht der unmittelbaren Einwirkung von Stichflammen ausgesetzt werden. Sie sind möglichst senkrecht in den Ofen oder den zu messenden Raum einzuführen, oder bei anderer Lage entsprechend zu stützen (Fig. 93b). Wird das Pyrometer in Räume eingeführt, in denen es selbst oder seine Schutzverkleidung von den vorhandenen Stoffen oder Gasen angegriffen wird, so ist es zur längeren Haltbarkeit nach jeder Messung herauszunehmen; dies ist besonders bei Verwendung in flüssigen Härtesalzen, Chlorbarium, oder in hocherhitzten Metallschmelzen zu beachten, weil sonst starker Verschleiß eintritt. Das Thermoelement ist im Ofen so anzubringen, daß es die Temperatur an der Stelle des Ofens mißt, an welcher die zu erhitzenden Gegenstände liegen; die Öffnung, durch die

Digitized by Google

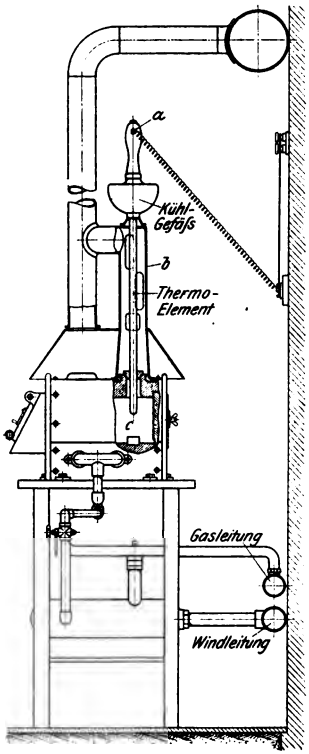


Fig. 94. Einbau des Thermoelementes in ein. Gasmuffelofen.

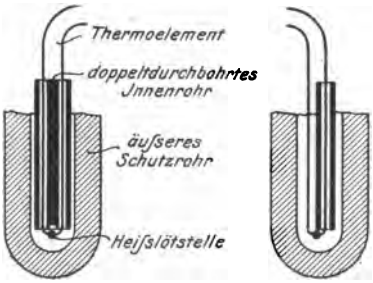


Fig. 95.[1]) Geschütztes Thermoelement.

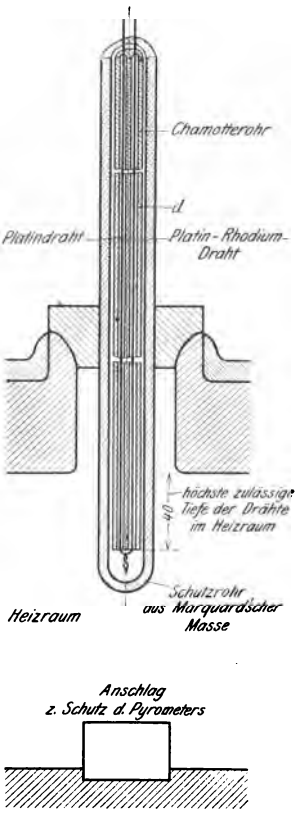


Fig. 96. Lagerung der Verbindungsstelle des Thermoelementes im Schutzrohr.

es in den Ofen hineinragt, ist gut zu verschließen, um die Erwärmung der außerhalb des Ofens liegenden Enden des Thermoelementes durch die strahlende Hitze zu vermeiden, da man sonst fehlerhafte

[1]) Fig. 95—98 aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.

Digitized by Google

Meßergebnisse erhält. Der Verschluß ist so anzuordnen, daß er der Längenausdehnung infolge der Erwärmung folgen kann. Einige praktische Einbauten von Thermoelementen zeigen die Fig. 93c bis 93e und 95 bis 96.

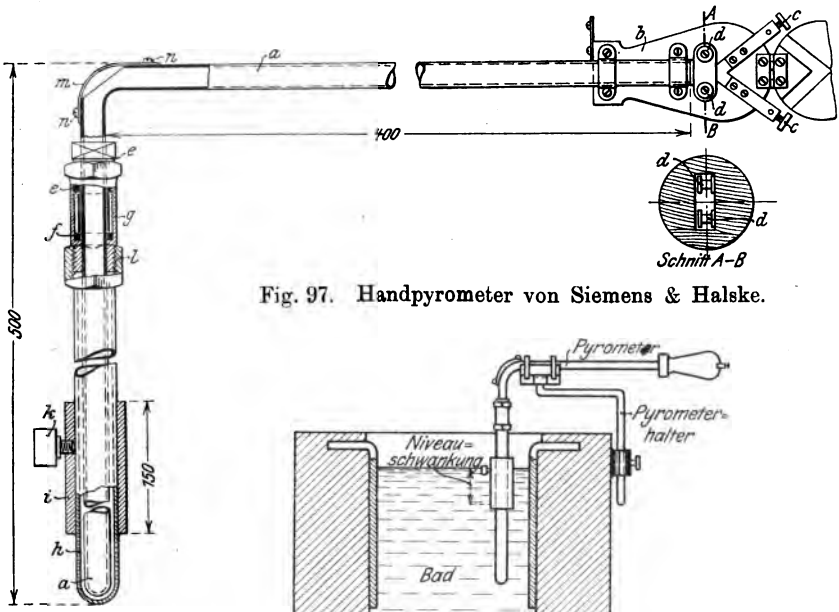


Fig. 97. Handpyrometer von Siemens & Halske.

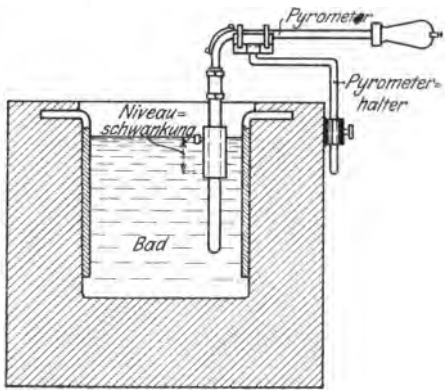


Fig. 98. Handpyrometer im elektrisch geheizten Salzbadofen.

Für Salzbadhärteöfen sowie für Bleibäder eignet sich am besten das Handpyrometer von Siemens & Halske (Fig. 97 u. 98).

Zum Ablesen der Temperaturen werden die bekannten Drehspul-Meßgeräte verwendet, bei denen sich eine vom thermoelektrischen Strome durchflossene Spule in dem ringförmigen Feld eines kräftigen Stahlmagneten dreht. Die Ableseapparate werden mit senkrechter oder wagrechter Drehachse ausgeführt, je nach den Thermoelementen, mit denen sie zu verwenden sind (Fig. 99 u. 100).

Digitized by Google

Zur dauernden Aufzeichnung von Wärmevorgängen aller Art werden die Ableseapparate gleichzeitig als Schreibapparate, sogenannte selbstschreibende oder registrierende Pyrometer ausgebildet. Sie erfordern wenig Wartung, die auch von ungeschultem Personal ausgeführt werden kann. Das Aufzeichnen geschieht in der Weise, daß ein durch ein Uhrwerk betätigter Fallbügel von Zeit zu Zeit den Zeiger auf das unter ihm langsam fortbewegte Papier drückt, wodurch auf diesem deutlich sichtbare Punkte markiert werden. Der Registriermechanismus beeinträchtigt also die freie Einstellung des Meßsystems nicht,

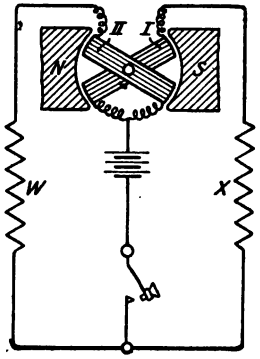


Fig. 99. Schaltschema des Differentialgalvanometers.

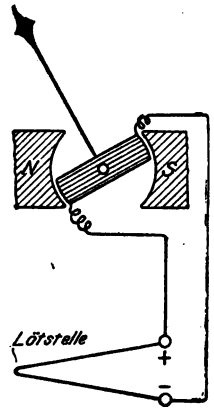


Fig. 100. Schaltschema des thermo-elektr. Pyrometers.

und da die meisten Temperaturänderungen im Verhältnis zur Registriergeschwindigkeit langsam verlaufen, reihen sich die Punkte zu einer zusammenhängenden Kurve aneinander. Die Aufstellung kann in beliebiger Entfernung von der Meßstelle erfolgen, auch können sie zum gleichzeitigen Aufzeichnen der Temperaturen verschiedener Öfen mit Hilfe eines selbsttätigen Umschalters benutzt werden, der die Enden jedes Elementes abwechselnd mit dem Schreibapparat verbindet. Fig. 101 bis Fig. 106 zeigen eine zuverlässige Ausführung des Apparates. Sie finden im Härtereibetriebe bei solchen Öfen Anwendung, wo es auf eine stets gleichbleibende Temperatur ankommt, z. B. Salzbadöfen, Einsatzhärteöfen u. a. m.

Digitized by Google

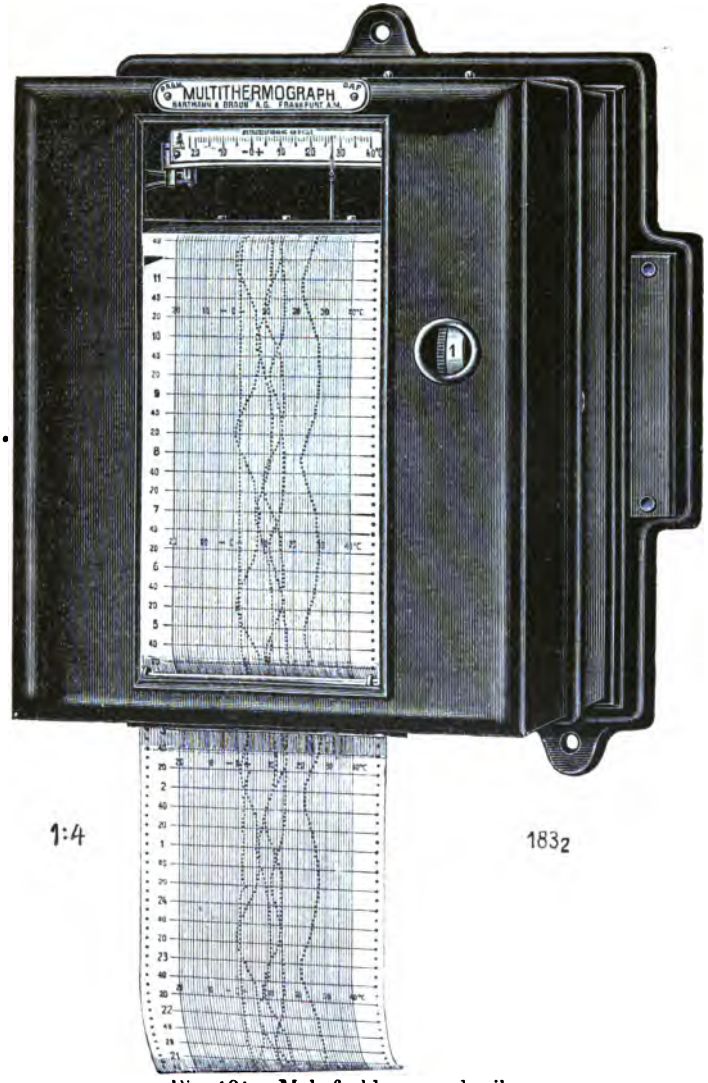


Fig. 101. Mehrfachkurvenschreiber.

In größeren Härtereianlagen, wo die Temperaturen mehrerer Öfen an einer Zentralstelle abgelesen werden sollen, z. B. beim Betriebsingenieur, verwendet man Mehrfachkurvenschreiber, wie ihn Fig. 101 und 106 zeigen.

Digitized by Google

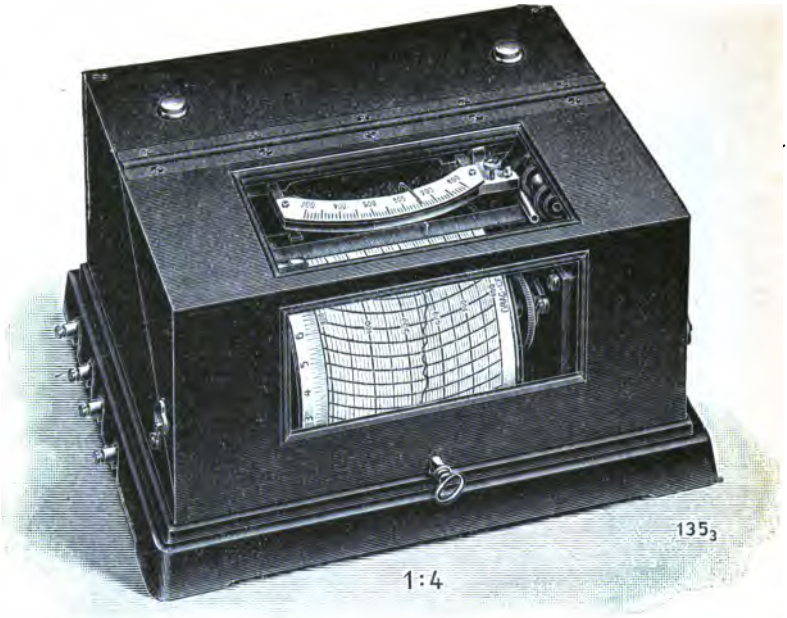


Fig. 102. Temperaturschreiber mit Trommeldiagramm.

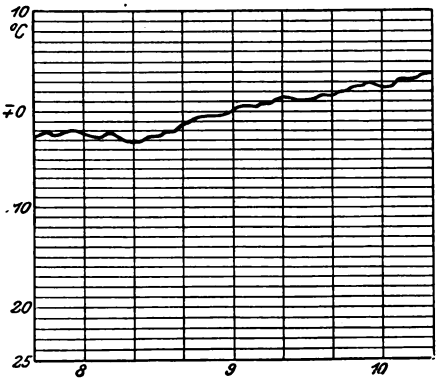


Fig. 103.
Kurven von Widerstandsthermometern.
(Trommelschreibern.)

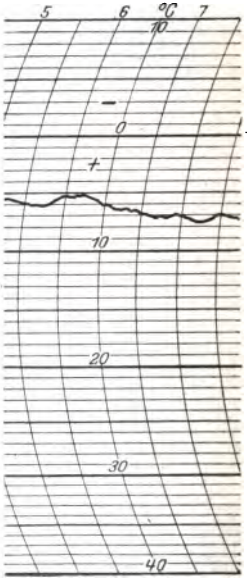


Fig. 104.

Digitized by Google

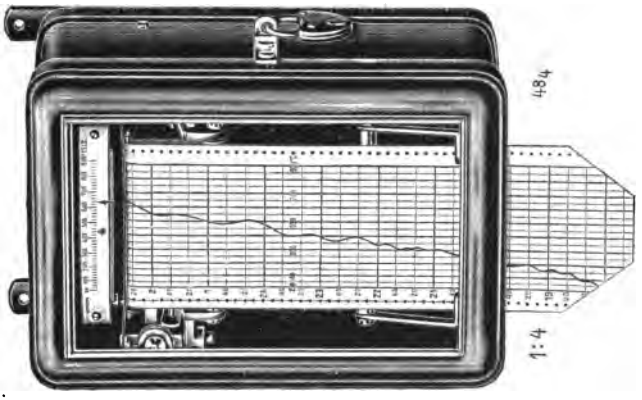


Fig. 105. Temperaturstreifen mit ablaufendem Papierstreifen.

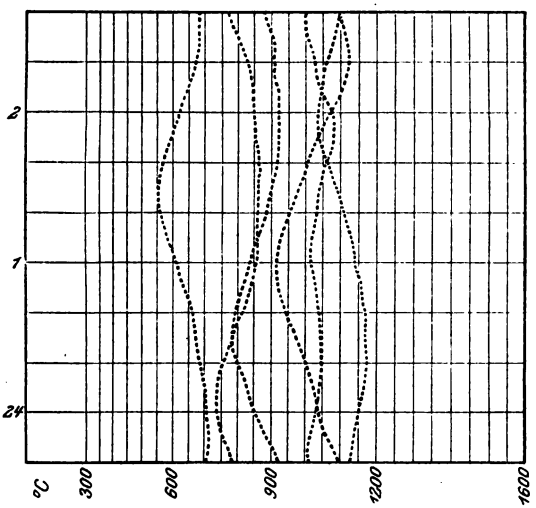


Fig. 106. Temperaturkurven des Mehrfachkurvenschreibers (verschiedenfarbige Kurvenlinien).

Das optische Pyrometer.

Das optische Pyrometer wird vor allem da verwendet, wo die thermoelektrische Temperaturmessung versagt, weil

1. die zu messende Temperatur zu hoch ist (über etwa 1500 bis 1600° C),
2. bewegte Massen oder chemische Einwirkungen das Thermoelement und seine Armatur schnell zerstören,

Digitized by Google

3. durch die große Anzahl der Meßstellen die Anschaffungs- und Unterhaltungskosten für Thermoelemente zu hoch sind,
4. die Meßstelle mit einem Thermoelement nicht zu erreichen ist.

Es ist daher für Härte- und Glühöfen sehr geeignet, außerdem empfiehlt sich seine Anschaffung schon deswegen, weil keine Edelmetalle oder Metallegierungen, wie z. B. bei den thermoelektrischen Pyrometern, zur Anwendung kommen.

Das optische Pyrometer nach Holborn und Kurlbaum beruht auf dem Wien-Planckschen Gesetz, nach welchem die Lichtstrahlung eines schwarzen Körpers, und als solcher ist praktisch z. B. jeder fast vollkommen geschlossene Hohlraum anzusehen, nur von der Temperatur abhängig ist. In der Achse des Fernrohres *F* (Fig. 107) befindet sich der Faden einer Glühlampe *L*. Wird das Fernrohr auf einen Körper höherer Temperatur gerichtet, so hebt sich der Faden der Glühlampe *L* im stromlosen Zustande als schwarzer Strich vom hellen Gesichtsfelde scharf ab. Bringt man ihn durch einen Strom aus einem Akkumulator *E* zum Glühen und reguliert die Stromstärke mit Hilfe des am Fernrohr angebrachten Regulierwiderstandes mit Grob- und Feineinstellung R_g und R_f so, daß der Faden im Bilde des glühenden Körpers verschwindet, dann haben beide gleiche Temperatur. Man mißt den Strom in der Glühlampe mit dem Strommesser *S*. Sofern der Strommesser, wie es meistens der Fall ist, eine nach Temperaturgraden geteilte Skala besitzt, kann die gesuchte Temperatur an ihr unmittelbar abgelesen werden. Andernfalls nimmt man einen Ablesestreifen zu Hilfe. Die Abhängigkeit der Glühfadentemperatur vom Strom ist durch Eichung im Laboratorium ermittelt; sie wird auf Wunsch von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt beglaubigt.

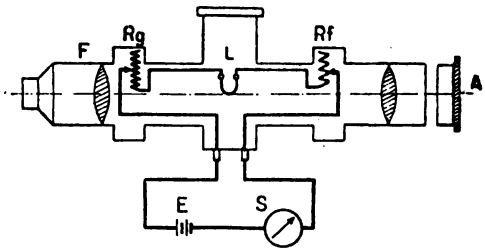


Fig. 107. Schematische Skizze des optischen Pyrometers nach Holborn und Kurlbaum.

Digitized by Google

In diesem Falle erhält das Pyrometer vorläufig noch eine Kohlenfadenlampe und für Temperaturen über 1400° C, zur Schonung der Glühlampe, eine Abschwächungsvorrichtung. Für

Fig. 108. Tragbarer Strommesser zum optischen Pyrometer.

Fig. 109. Doseninstrument in Ledertasche zum optischen Pyrometer.

gewöhnlich wird eine Metallfadenlampe benutzt, die eine Abschwächungsvorrichtung für Temperaturen bis 1600° C entbehrlich macht.

Digitized by Google

Die Ausführungsformen des optischen Pyrometers unterscheiden sich sonst nur hinsichtlich der Strommessertype; meist wird ein Doseninstrument in Ledertasche verwendet (Fig. 109). Bei Ersatz der Glühlampe kann die in Temperaturgrade eingeteilte Skala dem Instrumente entnommen und gegen eine andere ausgewechselt werden. Seltener wird ein tragbarer Strommesser (Fig. 108) mit größerer Skala verwandt; die Skala ist doppelt geteilt nach Ampère- und nach Celsiusgraden und nicht auswechselbar. Die Temperaturteilung paßt zu einer gleichzeitig mitgelieferten Lampe. Beim Messen mit anderen Lampen sowie im oberen Meßbereiche bedient man sich besonderer Ablesestreifen.

Fig. 110. Anwendungsweise des optischen Pyrometers.

Alle Zubehörteile des optischen Pyrometers, mit Ausnahme des Strommessers und des Akkumulators, sind in einem gemeinsamen Holzkasten untergebracht.

Die Vorzüge des optischen Pyrometers nach Holborn und Kurlbaum sind, kurz zusammengefaßt, folgende: geringes Gewicht und handliche Form, dabei einfache Einstellung und Handhabung, so daß selbst wenig geübte Personen imstande sind, sehr genaue Messungen auszuführen. Die Anwendungsweise ist in Fig. 110 wiedergegeben.

5. Abkühlen der Werkstücke beim Härten.

Das Abkühlen des glühenden Werkzeuges hat so gleichmäßig und, wenn es sich um die Erzielung der größtmöglichen Härte handelt, so rasch als möglich zu geschehen, daß die Wärme dem zu härtenden Teile gleichmäßig entzogen wird. Die

Digitized by Google

Gleichmäßigkeit der Abkühlung ist unbedingt nötig, weil das durch die Erwärmung ausgedehnte Stahlstück sich durch das plötzliche Ablöschen etwas zusammenzieht; es verzieht sich nicht, wenn das Abkühlen und damit das Zusammenziehen gleichmäßig erfolgt.

Taucht man das zu härtende glühende Werkstück ins Härtebad, so verdunstet die Härteflüssigkeit überall da, wo sie den glühenden Stahl berührt, hüllt also das Werkstück in eine Dampfschicht ein, die die Abkühlung und damit die Annahme gleichmäßiger Härte hindert. Der zu härtende Gegenstand muß daher im Härtebade fortwährend bewegt werden, damit die sich bildende Dampfschicht leichter entweichen kann; auch darf er nicht nahe der Wandung, sondern muß in der Mitte des Bades eingetaucht werden.

Es ist unbedingt zu vermeiden, ein Stück einfach in die Härteflüssigkeit zu werfen, mit Ausnahme ganz kleiner Gegenstände, die gleichzeitig in größerer Anzahl gehärtet werden, wie Nähnadeln u. ä.; denn der Gegenstand muß je nach seiner Form in einer bestimmten Lage in die Flüssigkeit eingeführt werden, die auf dem Boden des Gefäßes aufliegende Fläche würde auch mit der Härteflüssigkeit nicht in Berührung kommen.

Wird ein Stahlstab sq in die Abkühlflüssigkeit getaucht, daß seine Längsachse parallel zur Fläche

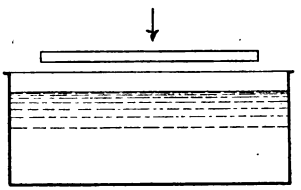


Fig. 111. Falsches Eintauchen des Werkstückes in die Abkühlflüssigkeit.

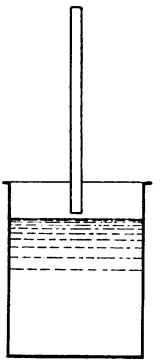


Fig. 112. Richtiges Eintauchen des Werkstückes in die Abkühlflüssigkeit.

derselben liegt, so verzieht er sich (Fig. 111). Solche Gegenstände müssen daher senkrecht und nicht zu rasch in die Härteflüssigkeit getaucht werden (Fig. 112); bisweilen führt man sie

Digitized by Google

auch spiralförmig darin herum, um das Werkzeug stets mit frischer noch nicht erwärmter Flüssigkeit in Berührung zu bringen; bei langen, dünnen und zum Verziehen geneigten Gegenständen darf man dies nicht tun. Das langsame Eintauchen bezweckt, das Abkühlen des Stahles in der Hauptsache an der Oberfläche der Härteflüssigkeit zu bewirken, damit die besonders bei größeren Gegenständen sich reichlicher bildenden und die Härtung behindernden Dämpfe sofort entweichen können. Man kann bei besonders großen und schweren Werkzeugen, oder solchen, die ihrer Form wegen leicht zum Verziehen neigen, auch so verfahren, daß man sie ruhig liegen läßt und mit der Härteflüssigkeit umspült.

Flache Gegenstände werden mit der schmalen Seite zuerst, teils senkrecht, teils wagrecht, ungleichmäßig dicke Werkstücke mit der dicken Seite zuerst in die Härteflüssigkeit gebracht, weil sonst beim Zusammenziehen des stärkeren Teiles der bereits abgekühlte dünnere Teil nicht nachgeben und so ein Reißen eintreten würde. Ist diese Art der Abkühlung nicht möglich, so sind schwächere Teile des Stückes mit einer dünnen Schicht Lehm zu umhüllen, wodurch sie vor zu rascher Abkühlung beim Eintauchen geschützt sind.

Zur Erzielung gleichmäßiger Härte darf auch die Temperatur der Härteflüssigkeit während des Härtens sich nicht wesentlich ändern; der Behälter mit der Härteflüssigkeit ist also möglichst groß zu nehmen und immer genügend gefüllt zu halten. Es empfiehlt sich auch, die Kühlflüssigkeit dauernd in Bewegung zu halten, indem ein oder mehrere Wasserzuleitungsrohre bis fast auf den Boden des Kühlgefäßes geführt werden, neue Wassermassen zuführen, während ein entsprechend weiter Überlauf den Wasserüberschuß selbsttätig fortführt; hierdurch wird auch verhindert, daß die sich bildenden Dampfblasen das Werkstück mit einer isolierenden Dampfschicht umgeben, wodurch die rasche Abkühlung behindert wird.

Den Behälter mit der Kühlflüssigkeit stelle man möglichst nahe an den Ofen oder das Feuer heran, damit man mit dem glühenden Gegenstande nicht erst einen längeren Weg durch die Luft zurückzulegen hat.

Man vermeide auch eine ungleichmäßige Abkühlung des Werkstückes unmittelbar vor dem Härten, schon scharfer Luft-

Digitized by Google

zug kann schaden. Desgleichen lege man es vor dem Härten, wenn es aus dem Ofen gebracht wird, nicht auf kalte Eisenplatten oder gar feuchte Unterlagen, um es mit der Zange besser zu erfassen; die hierdurch herbeigeführte einseitige bzw. ungleichmäßige Abkühlung ist häufig die Entstehungsursache von Härterissen. Ebenso schädlich ist die Wirkung kalter oder nasser Zangen, namentlich bei Gegenständen mit schwachem Querschnitte.

Die zweckmäßigste Temperatur des Härtewassers ist 15 bis 22° C, kälteres Wasser kühlt zu schroff, ohne eine größere Härte herbeizuführen, vermindert dagegen die Zähigkeit und der Stahl wird spröde. Regenwasser ist seiner Reinheit wegen am besten, ebenso abgekochtes Wasser; Brunnen- oder Flußwasser enthält vielfach schädliche Beimengungen. Setzt man Salze oder Säuren dem Wasser zu, so wird die Wärmeleitungsfähigkeit erhöht, es härtet also schärfer; kalkhaltiges Wasser bewirkt das Gegenteil.

Zu scharf härtendes Brunnen- oder Quellwasser mildert man dadurch, daß man etwas Soda oder Pottasche darin auflöst; ungenügend härtendes Flußwasser enthält eine bessere Härtefähigkeit durch Mischen mit geringen Mengen Säuren, z. B. Salzsäure, Schwefelsäure, Essig u. dgl. m. bis zu 2 v. H. Dabei sind Essigsäure und Zitronensäure von milderer Wirkung als Salzsäure, Salpeter- oder Schwefelsäure. Längere Zeit gebrauchtes Härtewasser hat die schädlichen Beimengungen ausgeschieden, härtet also stets sehr gleichmäßig.

6. Zusätze zum Härtewasser.

Kochsalz. Es wird meist eine gesättigte Kochsalzlösung verwendet, und zwar dann, wenn eine größere Anzahl Werkzeuge von komplizierter Form eine hohe Härte besitzen sollen.

Soda und Salmiak. Sehr geeignet für komplizierte Werkzeuge, bei denen eine Abtrennung einzelner Teile zu befürchten ist, z. B. bei komplizierten Fräsern.

Säuren. Angewendet, wenn die Werkzeuge die höchste erzielbare Härte besitzen sollen, oder wenn man wenig härtbarem Stahle eine genügend harte Oberfläche geben will.

Digitized by Google

Alkohol. Die Härtung wird stark verzögert, weil der Siedepunkt des Wassers erniedrigt wird, dieses also leichter verdampft.

Seife. Seifenwasser härtet gar nicht. Sollen an gehärteten Werkzeugen, wie Angeln an Feilen, Messern, Säbeln, Sägen u. a. m. weich gemacht werden, so erwärmt man diese Teile bis zur Rotglut und kühlt im Seifenwasser ab.

Mit Öl und Fett vermengtes Wasser. Auf die Wasseroberfläche gibt man eine Öl- oder Fettschicht; das abzukühlende Werkzeug wird durch diese hindurchgeführt, überzieht sich dabei mit einer durch die Hitze zäh gewordenen Fettschicht, die verzögernd auf die weitere Abkühlung im Wasser wirkt.

Gegenstände, die in angesäuertem Wasser gehärtet wurden, müssen darnach mit reinem Wasser oder mit Kalkwasser abgespült werden, um die Nachwirkungen der Säure zu neutralisieren und eine Oxydation zu verhüten.

a) Abkühlen in Ölen und Fetten.

Öle und Fette in flüssigem Zustande härten weniger scharf als Wasser; die Härtefähigkeit ist abhängig von der Konsistenz des betreffenden Mittels, die Härte milde bei großer Zähigkeit des Werkstückes. Es ist unbedingt erforderlich, daß hinreichend große Behälter mit reichlichen Öl- oder Fettmengen zur Verfügung stehen, einmal, um den zu härtenden Gegenstand darin bewegen zu können, und dann, um keine wesentliche Temperaturerhöhung der Kühlflüssigkeit zu erhalten.

Von den Ölen härtet Petroleum am schärfsten, Rüböl am gleichmäßigsten, dann Glyzerin, hierauf leichtflüssige Mineralöle, endlich dickflüssige Pflanzenöle, z. B. Leinöl. Man kann auch eine Mischung von Öl und Unschlitt anwenden, die halbflüssig bleibt. Häufig verwendet man an Stelle dieser beiden Härteflüssigkeiten Fischtran, der zwar billiger ist, jedoch leichter verdampft und brennt, außerdem wegen seines üblen Geruches lästig wird.

Fette. Am häufigsten wird geschmolzener Talg verwendet; man erreicht eine etwas größere Härte hierbei als in Ölen.

b) Abkühlen in Metallen.

Quecksilber. Bei seiner ausgezeichneten Wärmeleitungsfähigkeit bewirkt es die energischste Härtung, weil es, wenigstens

Digitized by Google

beim Härten kleinerer Gegenstände, nicht durch Dampfbildung die unmittelbare Berührung zwischen Quecksilber und Stahl hindert, somit eine sehr gleichmäßige Abkühlung zuläßt. Bei dem hohen Preise des Quecksilbers sind diese Vorteile nicht so bedeutend, um es anzuwenden.

Zinn, Zink, Blei und deren Legierungen. Infolge des hohen Schmelzpunktes dieser Metalle: Zinn 230° C, Blei 330° C und Zink 400° C findet keine Härtung wie in den vorerwähnten Abkühlmitteln statt. Die Härte des Stahles wird größer, wenn man die Werkzeuge nach kurzem Eintauchen in geschmolzenes Metall — etwa $^1/_4$ bis 2 Minuten, je nach dem Querschnitte — in Wasser sehr rasch abkühlt. Es eignet sich zum Härten von Federn und Werkzeugen, die zur Bearbeitung weicher Materialien dienen, welche die erforderliche zähe Härte und Schneidkraft erhalten sollen; ferner bei Maschinenteilen, die auf große Festigkeit und Abnutzung beansprucht werden.

Abkühlen durch feste Körper.

Es geschieht in der Regel in der Weise, daß das Werkzeug zwischen wassergekühlte Eisenplatten gelegt wird und dabei gleichzeitig eine Pressung erfährt; man nennt es auch Preßhärtung.

Angewendet wird die Preßhärtung bei sehr dünnen Werkzeugen, wie Sägeblättern, Bandstahl u. dgl., bei denen ein Verziehen vermieden werden muß.

c) Abkühlen durch Luft.

Es wird in der Weise ausgeführt, daß sie in einem starken Strome über den zu härtenden Gegenstand geblasen oder dieser in der Luft rasch bewegt wird; der Luftstrom eines Ventilators oder eines Gebläses wird hierzu benutzt. Durch Einführung des Schnellstahles wurde die Lufthärtung allgemein eingeführt.

d) Vorrichtungen zum Abkühlen.

In erster Linie ist hier das Wasserbad zu nennen, das zweckmäßig mit einem Ölbade in einem gemeinsamen Behälter untergebracht ist, wie Fig. 113 in Längsschnitt, Querschnitt und

Digitized by Google

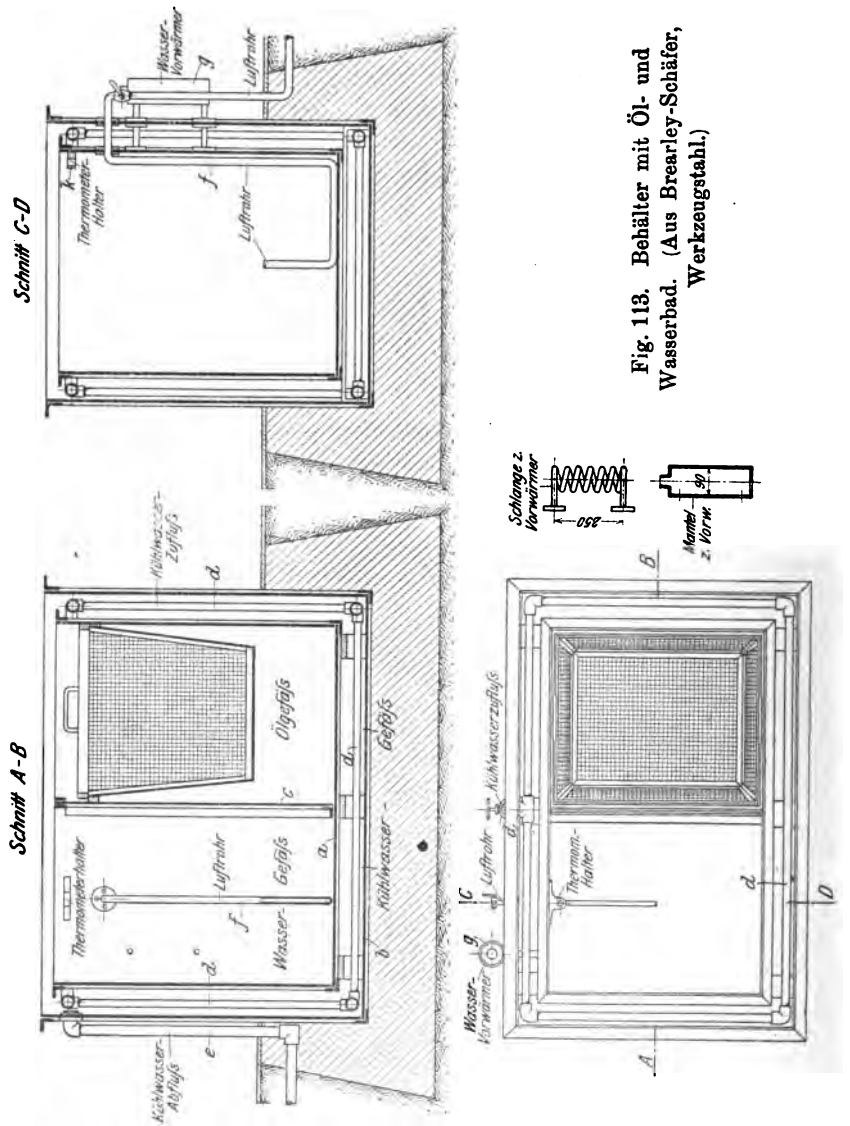


Fig. 113. Behälter mit Öl- und Wasserbad. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Grundriß, und Fig. 114 im Bilde zeigt. Das eigentliche Härtegefäß *a* dieses Kühlwasser- und Ölbehälters ist durch eine Zwischenwand *c* in zwei Abteilungen geteilt, von denen die

Digitized by Google

eine als Wasser-, die andere als Ölgefäß dient. Das Gefäß *a* ist von dem Kühlwassergefäß *b* umgeben, in welchem mittels der Wasserzuflußleitung *d* und des Überlaufrohres *e* ein fortwährender Zu- und Abfluß von kaltem Wasser unterhalten werden kann. Hierdurch ist es möglich, bei sorgfältiger Regelung des Wasserzuflusses im Kühlwassergefäß, selbst bei an-

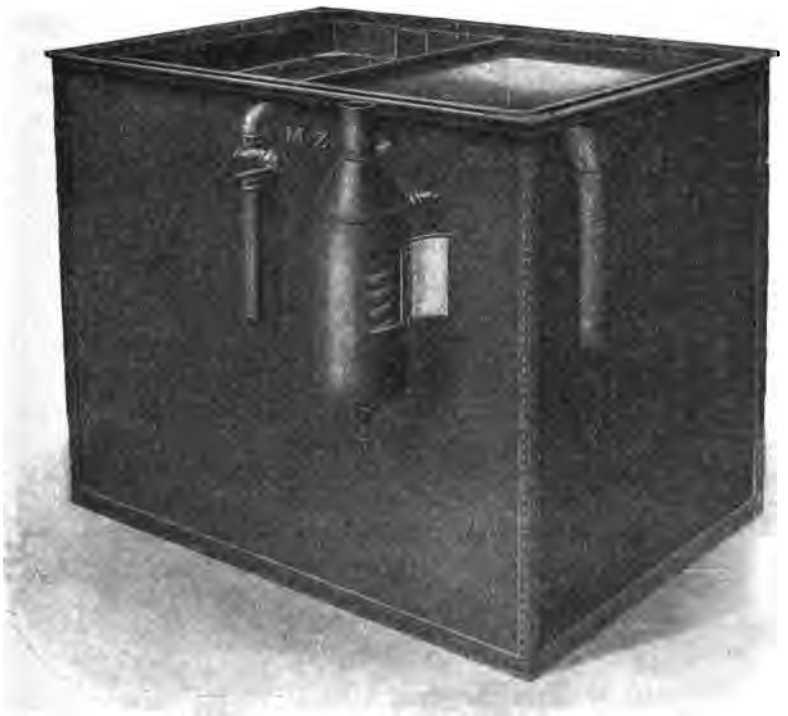


Fig. 114. Ansicht desselben Behälters.

haltendem Härten eine stets gleichbleibende Temperatur des Härtewassers zu erzielen. Beim Härten schwerer Gegenstände, welche nur mangelhaft im Härtewasser bewegt werden können, kann dasselbe durch ein in das Wassergefäß hineingeleitetes Luftrohr mittels Druckluft in genügende Wallung versetzt werden. Da zur Abkühlung großer Gegenstände eine geringere, zur Abkühlung kleiner Gegenstände dagegen eine höhere Tem-

Digitized by Google

peratur des Härtewassers erforderlich ist, so ist das Wassergefäß mit einem Vorwärmer *g* versehen, welcher die Erwärmung des Härtewassers über die Zimmertemperatur hinaus ermöglicht. Dieser Vorwärmer besteht aus einer Kupferschlange, welche durch Rohrstutzen mit dem Härtewassergefäß in Verbindung steht, sowie aus dem Mantel, der zum Umhüllen der Kupferschlange dient. Durch Erhitzen der Kupferschlange vermittels eines Bunsenbrenners wird eine verhältnismäßig schnelle Erhöhung der Temperatur des Härtewassers erzielt. Zur Kontrolle der Härtewassertemperatur kann in dem Thermometerhalter *k* ein Thermometer eingesetzt werden. Zum Sammeln und leichten Herausnehmen der gehärteten Gegenstände aus dem Ölgefäß ist in diesem ein heraushebbarer Drahtkorb angebracht [1]).

Der Wasser- und Ölbehälter wird in zwei Größen hergestellt:

Außenbehälter, Länge × Breite × Höhe in mm etwa:
1200 × 700 × 1100 und 1500 × 1000 × 1200
Innenbehälter, Länge × Breite × Höhe in mm etwa:
1000 × 500 × 950 und 1200 × 800 × 1000
Inhalt: Härtewasser und Öl, je Liter:
200 und 375
Rohranschluß für Wasserzufluß, engl. Zoll:
1 und $1^1/_4$
Rohranschluß für Wasserabfluß, engl. Zoll:
$1^1/_2$ und 2

Bei kleineren Werkzeugen aus Kohlenstoffstahl ist es angebracht, den Wasserbehälter möglichst nahe am Härteofen zu haben, so daß eine schädliche Abkühlung des Härtegutes zwischen dem Herausnehmen aus dem Ofen und dem Eintauchen in die Abkühlflüssigkeit vermieden wird. Fig. 115 zeigt einen für diesen Zweck ausgeführten Behälter mit einem herausnehmbaren Drahtkorb.

Zum Härten von kleineren Spiralbohrern findet man in Werkzeugfabriken häufig eine nach Fig. 116 ausgeführte Vor-

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1909, S. 284.

Digitized by Google

richtung. Sie besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten Rost *a*, auf den die erhitzten Bohrer gelegt und mittels einer Holzplatte *b* schnell hin und her gerollt werden[1]).

Zum Härten von Döppern und ähnlichen Werkzeugen, bei denen die Höhlung zu härten ist, findet eine Wasserstrahlvorrichtung nach Fig. 117 vorteilhafte Anwendung. In dem runden

Fig. 115. Tragbarer Behälter für die Kühlflüssigkeit.

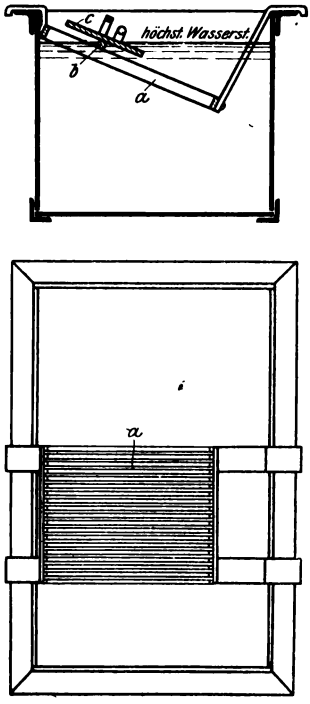


Fig. 116. Vorrichtung zum Härten kleiner Spiralbohrer. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Blechbehälter ist eine Strahldüse zentrisch angeordnet. Eine in ihrer Höhenlage verstellbare Klemmvorrichtung faßt das Werkzeug. Das gebrauchte Kühlwasser läuft durch einen im Boden angebrachten Stutzen ab.

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 289.

Digitized by Google

Eine Wasserstrahlvorrichtung zum Härten der Bohrungen von Matritzen, Zieheisen, Preßzylindern, welche die höchste Härte in der Lochwandung besitzen, während das dahinter liegende Material nur eine zähe Härte aufweist, ist in Fig. 118 dargestellt. In dem Behälter aus Eisenblech ist ein Stahlrohr

Fig. 117. Wasserstrahlvorrichtung zum Härten von Döppern.

Fig. 118. Wasserstrahlvorrichtung zum Härten von Bohrungen.

angeordnet, das durch eine Spiralfeder in seine Höchstlage gezogen wird und am oberen Ende mit einem Kopf zur Aufnahme von Ringen versehen ist. Der Wasserzufluß geschieht von oben und wird durch den wagrecht drehbaren Hebel geregelt. Durch die besondere Form der Düse wird der Wasserstrahl in drehende Bewegung versetzt, das gebrauchte Wasser durch ein am Boden des Behälters angebrachtes Abflußrohr ab-

Digitized by Google

geleitet. Bei Schnellstählen, die in Luft zu härten sind, bedient man sich des in Fig. 119 abgebildeten Apparates. Der Lufthärteapparat (Fig. 119) besteht aus dem Ständer g_3, den Düsen g_2 und der Spindel g_1. Am unteren Ende des Ständers

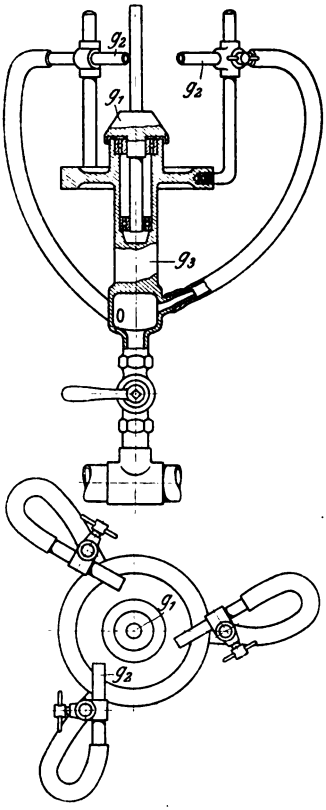


Fig. 119. Lufthärteapparat für Schnellstähle. (Aus Brearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Fig. 120. Behälter zum Härten von Schnellstählen in heißem Falz.

befindet sich ein Ventil, das mit der Luftleitung verbunden ist. Im oberen Teile des Ständers g_1 ist die Spindel g_3 mittels Kugellager gelagert, an der darunter befindlichen Scheibe sind die Düsenhalter befestigt, an denen die Düsen g_2 durch Flügelschrauben festgeklemmt bzw. in die richtige Höhenlage einge-

Digitized by Google

stellt werden können. Beim Härten bzw. Abkühlen von Drehstählen und dergleichen durch Luft kann die Spindel g_1 entfernt werden[1]).

Zum Härten von Werkzeugen aus Schnellstahl in heißem Talg kann eine Vorrichtung nach Fig. 120 benutzt werden. Der Talgbehälter dient zum Anwärmen des Talges auf etwa 60° C mittels eines Sternbrenners. Zum Schutze gegen Wärmestrahlung ist der Blechmantel mit Asbest ausgekleidet. In den verzinnten Topf ist ein Drahtkorb zum leichteren Herausnehmen der Werkzeuge eingehängt.

Für Öl- und Petroleumbehälter sind Deckel bereitzuhalten, um in Brandfällen die Flammen ersticken zu können.

X. Entlüftung des Härteraumes.

Die durch die verschiedenen Arbeiten in der Härterei sich entwickelnden Gase und Dämpfe müssen entfernt werden. Hochgelegte beiderseitige Drehfenster und ein ausreichender Entlüfter als Dachreiter wirken im allgemeinen besser als die künstliche Absaugung mittels Ventilator.

Blei-, Öl- und Zyankalibäder sind durch besondere Hauben abzuschließen, da die hier sich entwickelnden Dämpfe z. T. giftig sind.

Bei einer Neuanlage der Härtestube wird die Beachtung aller dieser Gesichtspunkte sich ohne Schwierigkeiten vollziehen; bei Um- und Ausbauten vorhandener Räumlichkeiten werden Schwierigkeiten zu überwinden sein, die nicht immer einfach sind.

XI. Wärmewirtschaft im Härtereibetriebe.

Das Streben nach äußerster Ausnutzung aller Betriebsmittel und Betriebsstoffe, wie es die allgemeine wirtschaftliche Lage bedingt, läßt sich sinngemäß auch auf den Wirtschaftsbetrieb der Härterei anwenden. Die Ausbeute der Abgase der Glüh- und Härteöfen — Wärmewirtschaft im Härtereibetrieb — ist zurzeit so ziemlich Neuland, in der Natur der Sache selbst be-

[1]) Blume, Werkstattstechnik 1908, S. 288.

Digitized by Google

gründet. Wenn auch Ansätze zur Ausnutzung der Abhitze vorliegen, so ist zweifellos noch manches zu tun.

Die Verbrennungsgase der Glüh- und Härteöfen verlassen diese mit sehr hoher Temperatur, deren Ausnutzung sehr weit getrieben werden kann, weil die Verbrennungsluft durch irgendein Gebläse unter Druck zugeführt wird, die Abhängigkeit vom natürlichen Schornsteinzug also entfällt.

Die bisher gebräuchliche Verwertung der Abwärme findet in den Öfen selbst statt:

a) zur unmittelbaren Vorwärmung des Glühgutes;
b) zur Vorwärmung der Verbrennungsluft;
c) zum Vorwärmen des Glühgutes und darnach zum Vorwärmen der Verbrennungsluft.

a) Bei der Vorwärmung des Glühgutes sind besondere Vorwärmekammern notwendig, aus denen dieses dann in den eigentlichen Glühraum zu bringen ist. Diese erforderliche Umlagerung beschränkt die Ausnutzung der Abgase insofern, als sie hauptsächlich für Härteöfen Anwendung findet. In härtereitechnischer Hinsicht hat sie den großen Vorzug allmählichen Anwärmens des Härtegutes und darnach raschen Erhitzens auf die Härtetemperatur.

b) Die Ausnutzung der Abgase zum Vorwärmen der Verbrennungsluft wird im wesentlichen bei größeren Ofenbauarten, wie Einsatzöfen u. dgl. m., angewendet. Hier wird der Brennstoff schwelend auf dem Rost verbrannt. Die zur Unterhaltung des Verbrennungsvorganges erforderliche Luft wird unter den Rost geführt, während die vorgewärmte Verbrennungsluft den Brennstoffgasen beigemischt wird, so daß sie erst beim Eintritt in den Einsatzraum vollkommen verbrennen. Die abziehenden Heizgase dienen dazu, die zugeführte Verbrauchsluft nach dem Gegenstromprinzip vorzuwärmen.

c) Die gemischte Verwertung der Abhitze ist wie die Ausnutzung unter a) nur bei den kleineren Ofenbauarten möglich.

[1] Vgl. »Über die Ausbeute der Abgase bei Glüh- und Härteöfen« von Carl Boye aus »Der Betrieb«, 2. Jahrgang, Juni 1920, Heft 12.

Digitized by Google

XII. Das Härten[1]).

In dem Abschnitt Materialienlehre wurde näher ausgeführt, daß die Eigenschaften des Eisens durch den Kohlenstoffgehalt ganz wesentliche Veränderungen erfahren können. Festigkeit und Härte steigen fast proportional mit diesem, am stärksten wird jedenfalls die Härtbarkeit beeinflußt.

Um den Begriff der Härtbarkeit bzw. Härte und damit des Härtevorganges zu erklären, ist es notwendig, einige neue Begriffe einzuführen und zu erklären. Denn hier haben erst die neueren und neuesten Forschungsergebnisse mit Hilfe des Mikroskopes über die Umwandlungen, die sich dabei im Innern der Legierung Eisen vollziehen, klärend gewirkt.

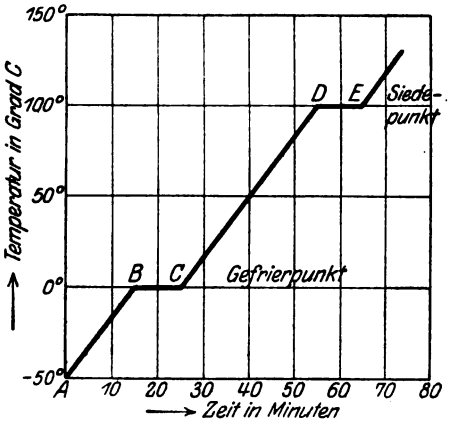


Fig. 121.

Führen wir einem Stück Eis, das eine Temperatur von — 50° C besitzen soll, langsam Wärme zu, so wird die Temperatur des Eisstückes allmählich steigen. Schreibt man sich in gewissen Zeitabschnitten, z. B. von je fünf zu fünf Minuten, die dabei mit einem Thermometer zu messende Temperatur auf und trägt am Schlusse die so erhaltenen Zahlen in der Weise in ein Liniensystem — Koordinatensystem — ein, daß in der Wagerechten — Horizontalen, Abszisse genannt — die Zeitabschnitte, in denen die Temperaturablesungen erfolgten — hier also die Minuten: fünf, zehn, fünfzehn — in den senkrechten Linien — Vertikalen, Ordinate genannt, — die dabei abgelesenen Temperaturen in irgendeinem beliebigen Maßstabe, beispielsweise 1° C

[1]) Siehe auch: G. Mars, Die Spezialstähle.

Digitized by Google

= 1 mm oder ähnlich, sich befinden, so erhält man die Kurve *AB*, aus deren gleichmäßigem Verlaufe man ersieht, daß die gesamte zugeführte Wärme lediglich zur Temperaturerhöhung dient. Fig. 121. Bei Punkt *B* jedoch hört das Ansteigen der Temperatur auf. Trotz weiterer Wärmezufuhr bleibt die Temperatur 10 Minuten lang auf 0° C stehen. Sieht man genau zu, so beobachtet man, daß das Eis begonnen hat, zu schmelzen. Es ist also Wärme verbraucht worden zu einer Umlagerung der Wasser-Moleküle. Diese Wärme, die wir einem Körper zuführen, ohne eine Temperatursteigerung zu erzielen, nennen wir latente Wärme, im vorliegenden Falle Schmelzwärme. Erst wenn das letzte Stückchen Eis geschmolzen ist, beginnt bei weiterer Wärmezufuhr die Temperatur des Wassers zu steigen und zwar wieder gleichmäßig, da alle Wärme nun zur Temperaturerhöhung verwandt wird. Ist nun von 25 bis 55 Minuten, entsprechend der Kurve *CD*, die Temperatur auf 100° C gestiegen, so wiederholt sich der gleiche Vorgang wie bei *B*. Trotz weiterer Wärmezufuhr bleibt die Temperatur konstant auf 100° C. Wiederum wird also Wärme aufgenommen und zu einer molekularen Umwandlung gebraucht. Diesmal ist es die Verdampfungswärme, denn bei 100° C beginnt das Wasser zu sieden. Erst wenn alles Wasser in Dampf übergeführt ist, steigt bei weiterer Wärmezufuhr die Temperatur von *E* wieder an.

Die gleichen Vorgänge, die sich beim Erwärmen abspielen, treten in umgekehrter Reihenfolge beim Abkühlen und Erstarren ein. Es sei diesmal als Beispiel das chemisch reine Eisen gewählt, Fig. 122. In eine bis auf 1800° C erhitzte Eisenschmelze taucht man ein Thermoelement, läßt die Schmelze langsam abkühlen und trägt von Minute zu Minute die gefundene Temperatur in ein Koordinatensystem ein. In den ersten zwei Minuten sinkt die Temperatur ganz gleichmäßig, bis plötzlich bei 1505° C ein Stillstand in der Temperaturabnahme eintritt. Ähnlich dem oben angeführten Beispiele vermutet man auch hier eine molekulare Umwandlung. Berührt man die Schmelze mit einem Stäbchen, so erkennt man, daß sie begonnen hat, zu erstarren. Da nun, wie aus früherem ersichtlich, beim Schmelzen Wärme gebunden wird, so muß umgekehrt beim Erstarren diese Schmelzwärme wieder frei werden. Dies ist auch tatsächlich der Fall. Die freiwerdende Schmelzwärme hindert ein weiteres Fallen

Digitized by Google

der Temperatur. Sie bleibt konstant, und erst wenn alles Eisen erstarrt ist, sinkt die Temperatur gleichmäßig weiter. Mit Hilfe sehr feiner Meßinstrumente kann man dann beobachten, daß bei

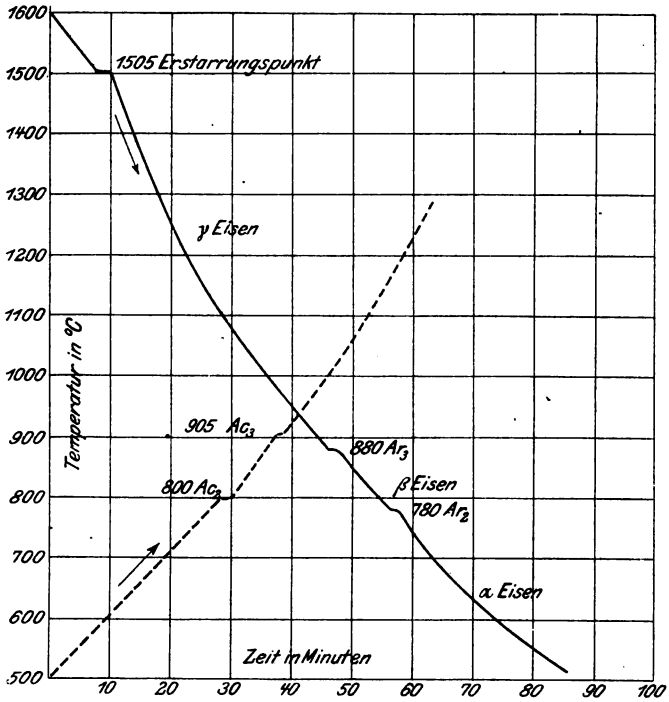


Fig. 122.

880° C und 780° C die Temperatur nochmals kurze Zeit still steht. Nun ist das Eisen bereits bei 1505° C erstarrt, es wird also hier nur auf eine Umwandlung im festen Zustande zu schließen sein, auf einen Übergang in eine andere allotrope Modifikation.

„Allotrope Modifikationen“ oder „allotrope Zustände“ sind die Eigenschaften mancher Elemente, im festen Aggregatzustande in verschiedenen Formen existieren zu können; z. B. Kohlenstoff, der in drei allotropen Modifikationen vorkommt: als Diamant, als Graphit und amorph, d. h. gestalt- oder formlos.

Digitized by Google

Innerhalb des Temperaturbereiches von 780° bis 880° C ist das Eisen unmagnetisch. Auf Grund der thermischen Analyse unterscheidet man drei Modifikationen des Eisens:

1. Das gewöhnliche magnetisierbare α-Eisen — lies „Alpha-Eisen".
2. Es geht bei 780° C in das unmagnetische β-Eisen — lies „Beta-Eisen" — über.
3. Dieses letztere geht bei 880° C in das magnetisierbare γ-Eisen — lies „Gama-Eisen" — über.

Die in Fig. 122 dargestellte Kurve nennt man Abkühlungskurve, die Punkte *A*, *B* und *C*, an denen die Temperaturerniedrigung „halt" macht, heißen Haltepunkte.

Jede Richtungsänderung und jeder Haltepunkt einer Abkühlungskurve deutet auf eine Umwandlung im Gefüge eines Metalles oder einer Metallegierung hin. Diese Umwandlungen können sein: Schmelzen oder Erstarren, Übergang in eine andere allotrope Modifikation, Bildung oder Zerfall von Verbindungen oder Mischkristallen.

Die thermische — Wärme- — Analyse ist daher ein Studium der Haltepunkte.

Zur völligen Aufklärung eines Gefüges genügt die Untersuchung einer Legierung meist nicht; man muß daher systematisch eine Reihe von Legierungen mit steigendem Gehalte bis zu den beiden reinen Komponenten untersuchen. Als Komponenten bezeichnet man diejenigen Bestandteile eines Systems, d. h. der einer Untersuchung unterzogenen Stoffe, deren Mengenverhältnis beliebig gewählt bzw. verändert werden kann, ohne daß andere Bestandteile hierdurch beeinflußt werden. Die Ergebnisse trägt man in ein Koordinatensystem ein. Die gemessenen Temperaturen werden auf den beiden Senkrechten — Ordinaten — auf der Wagrechten — Abszisse — die Prozentgehalte des einen von *A* nach *B* steigend, die des anderen Legierungsmetalles von *B* nach *A* steigend, aufgetragen. In Fig. 123 ist das Erstarrungsbild der Wismut-Antimonlegierungen dargestellt. Im Punkte *A* sind Null-Prozent, im Punkte *B* Hundert-Prozent Antimon, und umgekehrt im Punkte *B* Null-Prozent, im Punkte *A* Hundert-Prozent Wismut in der Lösung enthalten. Punkt *C* zeigt dann eine Legierung von 40 Prozent

Digitized by Google

Antimon und 60 Prozent Wismut. Die Ergebnisse der thermischen Untersuchung, d. h. die aus einer Reihe von Abkühlungskurven verschiedener Legierungen gefundenen Haltepunkte

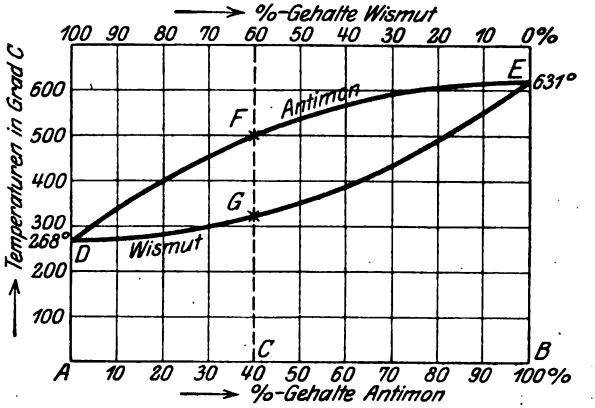


Fig. 123.

trägt man auf und verbindet sie miteinander, wodurch man zwei Kurven erhält, die Beginn und Ende der Erstarrung aller Wismut-Antimonlegierungen zwischen Null und Hundert Prozent darstellen. Man nennt diese Übersicht der Erstarrungs- und Umwandlungsvorgänge einer Metallegierung, die uns vor allen Dingen in Form eines Diagrammes Aufschluß über den Aufbau der Gefügebestandteile geben, sowie ob und in welchen Grenzen die betreffenden Metalle im festen und flüssigen Zustande mischbar sind, „Zustandsdiagramm".

Um die Mischbarkeit von Metallen zu erklären, wurden vergleichsweise Flüssigkeiten gebraucht. Bei diesen letzteren lassen sich drei Fälle unterscheiden:

1. Zwei Flüssigkeiten sind in jedem Verhältnis mischbar. Die Mischung verhält sich wie ein einheitlicher Körper, der nicht ohne weiteres in seine beiden Bestandteile getrennt werden kann, also eine durch und durch homogene Mischung bildet.

2. Zwei Flüssigkeiten sind vollkommen unmischbar, sie trennen sich trotz besten mechanischen Durchrührens nach ihren spezifischen Gewichten in verschieden schwere Flüssig-

Digitized by Google

keiten. Waren z. B. bei zwei verschiedenen Flüssigkeiten die spezifischen Gewichte annähernd die gleichen, so bildet sich eine Emulsion, d. h. ein milchähnliches Flüssigkeitsgemisch, bestehend aus mikroskopisch wahrnehmbaren Teilchen der einen Flüssigkeit neben solchen der anderen. Nach längerem Stehen tritt auch bei Emulsionen meist eine Scheidung in beide Flüssigkeitsschichten ein.

3. Zwei Flüssigkeiten sind begrenzt mischbar. Schüttelt man beide durcheinander und überläßt dieses Gemisch sich selbst, so sondern sich nach kurzer Zeit zwei Schichten ab, eine obere, die etwas von der unteren in sich gelöst enthält und eine untere, die Teilchen der oberen gelöst hat.

Alle diese drei soeben angeführten Möglichkeiten der Mischbarkeit kann man auch bei den Metallegierungen im flüssigen Zustande unterscheiden, von denen die meisten hier in jedem Verhältnis mischbar sind, das Gemisch ganz gleichmäßig zusammengesetzt und nicht in seine Bestandteile zerlegbar ist. Diese Gemische haben das meiste Interesse.

Nun unterscheidet sich bei chemisch nahe miteinander verwandten Metallen, z. B. Antimon-Wismut, die feste Phase in keiner Weise von der flüssigen. Als Phase bezeichnet man hierbei diejenigen physikalisch homogenen Teile eines Systems, die sich durch mechanische Hilfsmittel voneinander trennen lassen. Ein Gemisch von Eis und Wasser von Null Grad besteht nur aus einem Stoff, wird somit als Einstoffsystem bezeichnet; durch Filtrieren kann man das Eis vom Wasser trennen, beide Teile des Systems, Eis und Wasser, sind durch dieses mechanische Hilfsmittel trennbar, stellen also die Phasen dieses Einstoffsystems dar.

Die Schmelze — Antimon-Wismut — erstarrt zu einer vollkommen homogenen Masse, in welcher auch bei schärfster Vergrößerung nur das Gemisch, niemals aber Teilchen der Bestandteile — Komponenten — wahrnehmbar sind. Legierungen dieser Art, bei denen im flüssigen und festen Zustande die Komponenten völlig ineinander gelöst sind, etwa wie in einer Salzlösung Salz und Wasser, hat man „feste Lösungen“ oder, da sie, wie alle Metalle, bei der Erstarrung kristallisieren, „Mischkristalle“ genannt. Fig. 124 zeigt schematisch eine solche Legierung. *A* soll die flüssige Phase vorstellen; bei *B* beginnt

Digitized by Google

die Erstarrung, aus der flüssigen Schmelze scheiden sich die Mischkristalle aus; bei *C* ist diese Schmelze zu dem vollkommen homogenen Mischkristall erstarrt. Man sagt nun:

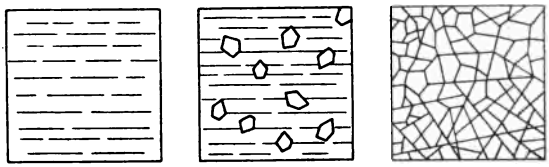


Fig. 124.

Chemisch nahestehende Metalle sind im flüssigen und festen Zustande unbegrenzt mischbar, sie bilden Mischkristalle.

In Fig. 123, dem Zustandsdiagramm der Bi-Sb-Legierungen, stellt die Linie *DFE* den Beginn der Erstarrung der Legierungen dar.

Oberhalb *DFE* ist die Schmelze flüssig, unterhalb *DFE* scheiden sich Mischkristalle aus. Diese Ausscheidung von Mischkristallen wird um so reichlicher, je näher man sich der Kurve *DGE* nähert, welche selbst den Verlauf des Endes der Erstarrung darstellt. Innerhalb *DGEFD* findet sich Schmelze und bereits ausgeschiedene Mischkristalle, unterhalb *DGE* ist die

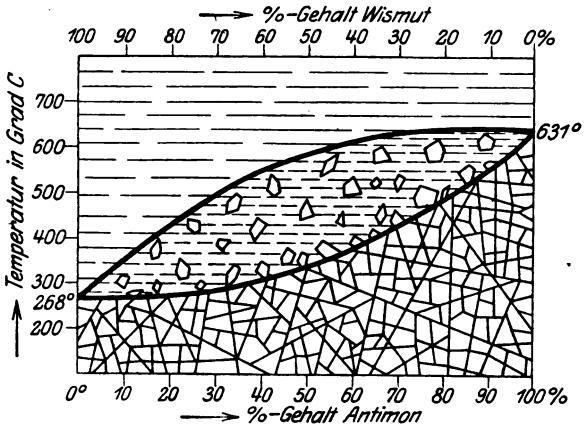


Fig. 125.

Digitized by Google

Schmelze völlig zum homogenen Mischkristall erstarrt. Fig. 125 zeigt das vorstehend Geschilderte nochmals deutlich im Bilde.

Im Gegensatz zur vollkommenen Mischbarkeit im festen Zustande steht vollkommene Unmischbarkeit im festen Zustande, zu deren besserem Verständnis die bekannte Legierung von Blei und Zinn, das Lötzinn, näher untersucht werden soll, und zwar eine Legierung von 30 v. H. Zinn und 70 v. H. Blei. Nun sind

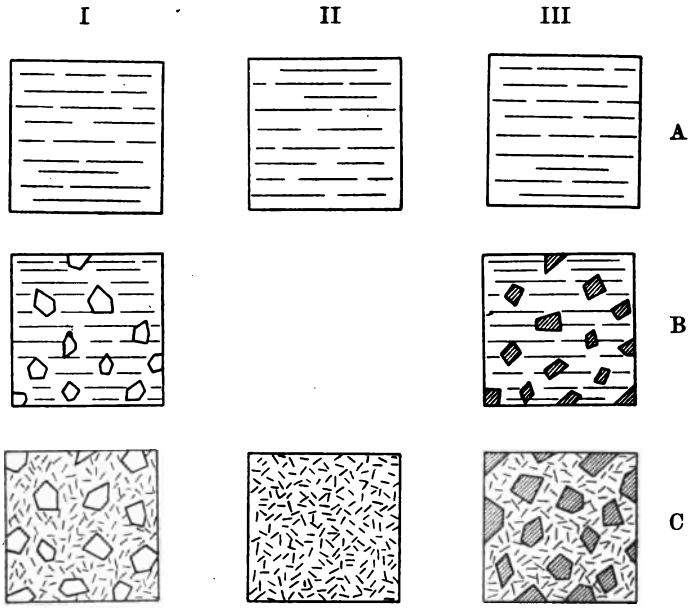


Fig. 126.

Blei und Zinn in flüssigem Zustande vollkommen mischbar, Fig. 126, A I, beim Sinken der Temperatur scheiden sich aus der homogenen Schmelze B I bei etwa 260° C Bleikristalle aus, die in dieser schwimmen. Sinkt die Temperatur noch tiefer, so scheiden sich immer mehr Kristalle aus, bis bei einer Temperatur von 180° C die ganze flüssige Schmelze zu einer sehr feinen Mischung von Blei und Zinn erstarrt. Unter dem Mikroskop erkennt man nun eine Nebeneinanderschichtung kleinster Zinn- und Bleiteilchen, einer Emulsion ähnlich, C I. Die Metallo-

Digitized by Google

graphie nennt eine solche „Metallemulsion“ = „Eutektikum“. Unter Eutektikum versteht man also stets ein mechanisches Gemenge von kleinsten Metallteilchen, die bei starker Vergrößerung unter dem Mikroskop noch gut wahrnehmbar sind. Das Eutektikum einer Legierung hat ziemlich gleiche Zusammensetzung und den tiefsten Schmelzpunkt.

Betrachten wir Fall II, eine Legierung von 70 v. H. Zinn und 30 v. H. Blei, so sieht man, daß beim Erstarren keine Kristallausscheidung erfolgt. Bei 180° C wird sie plötzlich fest und bei starker Vergrößerung erkennt man, daß sie nur aus Eutektikum besteht. Fall III zeigt eine Legierung von 90 v. H. Zinn und 10 v. H. Blei; sie scheidet beim Erstarren wie im Falle I Kristalle aus, die in der Schmelze schwimmen, doch sind es Zinnkristalle III B. Bei 180° C erstarrt auch hier die Schmelze plötzlich, und in III C sehen wir im Eutektikum eingebettete Zinnkristalle.

Vorstehende Darlegungen lassen sich nun metallographisch im Zustandsdiagramm des Systems Blei-Zinn, Fig. 127, ver-

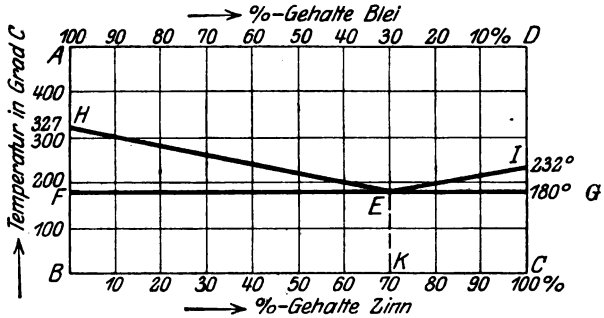


Fig. 127.

einigen. *H E* bezeichnet den Beginn des Ausscheidens der Bleikristalle, Linie *E J* den des Ausscheidens der Zinnkristalle, während *F G* der Erstarrungstemperatur des Eutektikums entspricht.

Zum besseren Verständnis des Zustandsdiagrammes Fig. 127 sind die Erstarrungsvorgänge in Fig. 128 derselben Legierung Blei-Zinn dargestellt. Vergleicht man beide Figuren miteinander, so ergibt sich folgendes Bild: Die Schmelze ist ober-

Digitized by Google

halb HEJ vollkommen homogen flüssig; längs HE scheiden sich Bleikristalle und innerhalb HEF finden sich Bleikristalle neben homogener Schmelze; längs EJ scheiden sich Zinnkristalle

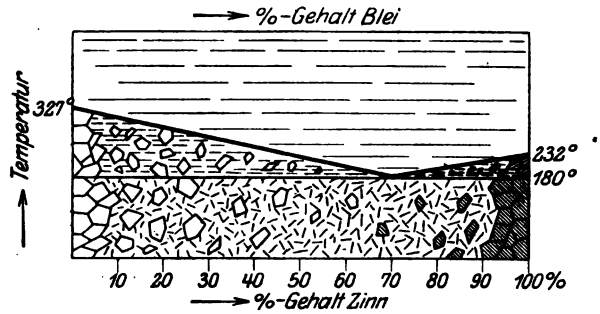


Fig. 128.

aus und innerhalb EJG haben wir Zinnkristalle neben Schmelze. Längs der Graden FG erstarrt das Eutektikum, im Bereiche $FBKE$ findet man in der erstarrten Legierung Bleikristalle eingebettet in Eutektikum, bei EK das Eutektikum selbst und im Gebiete $EKCG$ Zinnkristalle im Eutektikum. Links vom Eutektikum sind also nur Bleikristalle, rechts vom Eutektikum nur Zinnkristalle daseinsfähig.

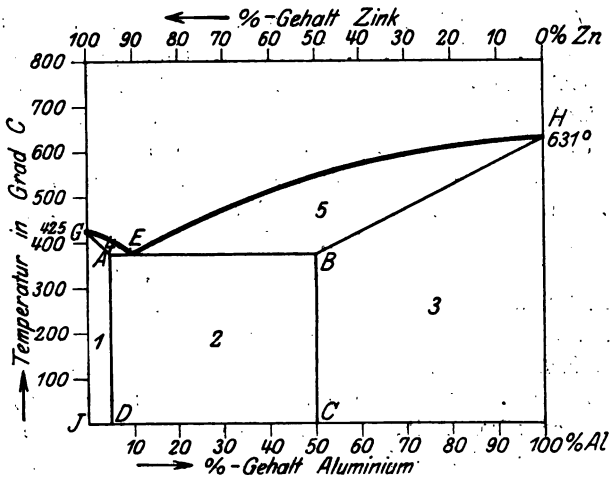


Fig. 129.

Digitized by Google

Die teilweise Mischbarkeit zweier Metalle im festen Zustande soll an einer Zink-Aluminiumlegierung, deren Zustandsdiagramm in Fig. 129 und deren Gefügebestandteile in Fig. 130 dargestellt sind, betrachtet werden. Aluminium kann

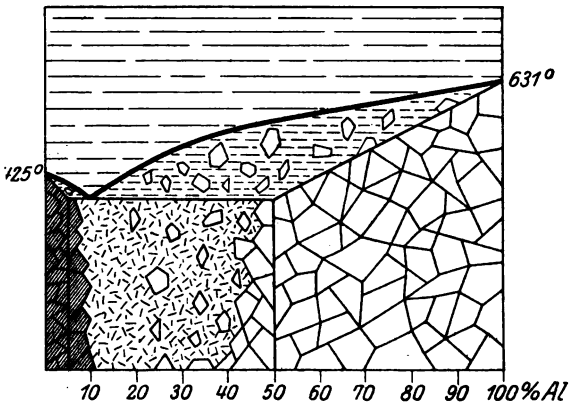


Fig. 130.

im festen Zustande Zink vollständig lösen und Mischkristalle bilden, doch erreicht dieses Lösungsvermögen für Zink bei etwa 50 v. H. seine Grenze, Punkt *B*. Andererseits kann Zink etwa 5 v. H. Aluminium in fester Lösung aufnehmen, Punkt *A*. Zwischen 5 v. H. und 50 v. H. Aluminium sind beide Metalle im festen Zustande völlig unlöslich, nur haben wir hier nicht die reinen Metalle als unlösliche Bestandteile, sondern die beiden gesättigten Mischkristalle. Das Gefüge der erstarrten Legierungen ist also in Feld 1 und Feld 3 vollkommen homogen, und zwar zeigt das Mikroskop in 1 den zinkreichen, in 3 den aluminiumreichen Mischkristall. In *E* liegt der eutektische Punkt. Feld 2 zeigt links von *E* den Mischkristall 1, rechts von *E* den Mischkristall 3 in Eutektikum eingebettet, während dieses selbst aus einer sehr feinen Nebeneinanderlagerung der beiden gesättigten Mischkristalle 1 und 3 besteht. Oberhalb *G E H* ist homogene Schmelze. Im Felde 4 scheiden sich zinkreiche, in der Schmelze schwimmende, im Felde 5 aluminiumreiche Mischkristalle aus. Die teilweise Mischbarkeit der beiden Metalle erkennt man daran, daß die eutektische Grade bei *A* und *B*

Digitized by Google

endigt, also nicht bis zu den reinen Komponenten durchgeführt ist.

Nach diesen einführenden und erklärenden Betrachtungen an einfachen Fällen sollen nun die Zustandsdiagramme des reinen Eisens und seiner technisch wichtigsten Legierungen behandelt werden.

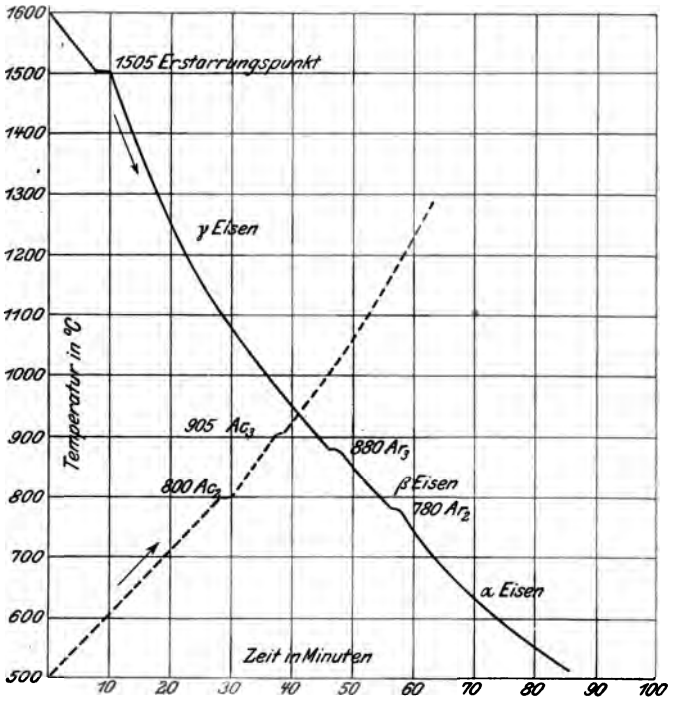


Fig. 131. Abkühlungs- und Erhitzungskurve des reinen Eisens nach Osmond. (Aus Wawrziniok, Materialprüfungswesen.)

Fig. 131 zeigt die Abkühlungs- und Erhitzungskurve des reinen Eisens nach Osmond, der die Umwandlungen desselben zuerst ausführlich studierte. Am Anfange dieses Abschnittes wurde dies eingehender ausgeführt.

Die Umwandlungspunkte sind hierbei, vgl. auch Fig. 131, mit *A* bezeichnet, und zwar die Haltepunkte bei der Erhitzung

Digitized by Google

mit Ac, die Haltepunkte bei der Abkühlung mit Ar. Der dem großen Buchstaben angefügte kleine bedeutet:

c d. h. chauffage = Erhitzung,
r d. h. refroidissement = Abkühlung.

A. Das System Eisen-Kohlenstoff.

Viel wichtiger als das reine Eisen ist die Legierung Eisen, da sie allein technisch herstellbar ist. Ausschlaggebend ist hierbei, wie früher gesagt wurde, der Gehalt an Kohlenstoff, man nennt sie daher „Eisen-Kohlenstoff-Legierungen"; zu diesen gehören die Kohlenstoff-Stähle.

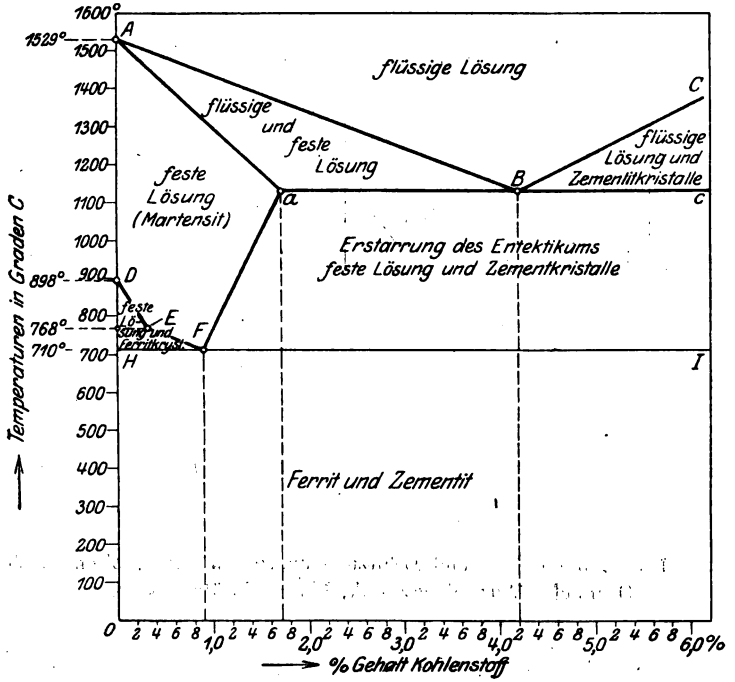


Fig. 132.

Das Zustandsdiagramm, d. h. Erstarrungsbild, der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen innerhalb des Kohlenstoffgehaltes, der den technisch wichtigen Legierungen entspricht, zeigt Fig. 132.

Digitized by Google

Der Erstarrungspunkt des reinen Eisens *A* ist hier zu 1529° C angenommen. Die Linien *AB* und *BC* bedeuten den Beginn der Erstarrung, oberhalb dieser Temperaturen ist die Schmelze vollkommen flüssig; der Schnittpunkt beider Linien *B* ist der eutektische Punkt. Die Graden *Aac* zeigen das Ende der Erstarrung an.

Unterhalb *ABC* beginnt bei der Abkühlung der geschmolzenen Legierung die Abscheidung von Mischkristallen für einen Kohlenstoffgehalt von 0 bis 4,2 v. H. Diejenigen Eisen-Kohlenstoff-Legierungen, deren Kohlenstoffgehalt höher als 4,2 v. H. ist, scheiden nach *BC* Kristalle von Eisenkarbid — Fe_3C — aus. Der eutektische Punkt *B* entspricht der gleichzeitigen Kristallisation von Mischkristallen und Eisenkarbid.

Neu in diesem Erstarrungsbild sind einige Linien innerhalb der bereits völlig erstarrten und nur noch rotglühenden Schmelze; jedenfalls deuten sie an, daß sich in dem bereits festen Eisen weitere Umwandlungen vollziehen, also Erstarrungen innerhalb des bereits erstarrten Eisens auftreten. Man kann diesen Vorgang als ein Auskristallisieren von gewissen Bestandteilen aus einer Lösung dieser mit dem Eisen, die man nun wegen ihres bereits erstarrten Zustandes als feste Lösung bezeichnet. Die Zusammensetzung der bei etwa 1150° C erstarrenden Eutektika ist durch die Linie *aBc* gegeben. Im System Eisen-Graphit besteht das Eutektikum aus Mischkristallen von Eisen mit etwa 2 v. H. Kohlenstoff — Punkt *a* — aus solchen von Eisen mit Graphitkristallen bei Punkt *c*. Das Eutektikum im System Eisen-Eisenkarbid besteht auch aus Mischkristallen mit etwa 2 v. H. Kohlenstoff — Punkt *a* — aus solchen mit Eisenkarbid = Fe_3C, das den Namen „Zementit" in der Metallographie erhalten hat.

Der Gefügeaufbau der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen unmittelbar nach beendigter Erstarrung läßt sich nicht ohne weiteres feststellen, weil eine direkte Beobachtung nicht möglich ist und die Gefügebestandteile bei weiterer Abkühlung Umwandlungen erleiden. Indes kann durch rasche Abkühlung unmittelbar nach beendigter Erstarrung die Umwandlungen der Legierungen so stark unterdrückt werden, daß eine Betrachtung der Erstarrungsstrukturen möglich ist.

Digitized by Google

I. Gruppe: Feste Lösungen mit Kohlenstoffgehalt von 0 bis 1,7 v. H., als feste Lösungen von γ-Eisen und Eisenkarbid betrachtet, heißen metallographisch: „Austenit“ (n. d. englischen Forscher Roberts-Austen).

Bei der Abscheidung nimmt er die Form von Tannenbaumkristallen an.

II. Gruppe: 1,7 bis 4,2 v. H. Kohlenstoff: Austenit + Ledeburit[1]).

Ledeburit ist das Eutektikum B mit 4,2 v. H. C.

III. Gruppe: 4,2 v. H. Kohlenstoff, enthält nur das Eutektikum B, also Ledeburit.

IV. Gruppe: oberhalb 4,2 v. H. Kohlenstoff: Zementit + Ledeburit.

Das Eisenkarbid, Fe_3C, erhielt den Namen Zementit.

Das bei konstanter Temperatur entstehende Gemenge von α-Eisen und Eisenkarbid ist das Eutektoid Perlit, so genannt wegen des schönen Perlmutterglanzes. Kohlenstoffreies Eisen wird Ferrit genannt, Vgl. a. S. 5 und Fig. 1.

Das Gefüge der festen Lösung nach dem Abschrecken der Stähle aus Temperaturen oberhalb der Haltepunkte *DEFa* zeigt keinen der festen Gefügebestandteile Ferrit, Perlit oder Zementit. Unter dem Mikroskop zeigt das Gesichtsfeld der Stähle ein unklares, keinerlei bestimmt ausgeprägte Korngrenzen aufweisendes Aussehen, nadliche Ätzfiguren, ähnlich wie die feine Befiederung größerer Federn. Dieses Gefüge wird durch Abschrecken bei allen Stählen erreicht und heißt metallographisch „Martensit“[2]).

Nun wird der Schmelzpunkt einer Legierung durch Einführung eines weiteren Körpers in diese verändert. So wird beim gewöhnlichen Kohlenstoffstahl der Schmelz- und Erstar-

[1]) Ledebur, Geh. Bergrat, Professor a. d. Bergakademie Freiberg i. Sa. † daselbst.

[2]) Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. Martens, † als Direktor der Materialprüfungsanstalt in Groß-Lichterfelde bei Berlin.

Digitized by Google

rungspunkt durch Hinzufügen der meisten in den „Spezialstählen“ gebräuchlichen Legierungsbestandteile, wie:

Silizium, Mangan, Nickel, Wolfram,

wesentlich erniedrigt und in demselben Maße die Lage der Haltepunkte erheblich verändert. In der Regel ist damit eine Erniedrigung der Haltepunkte verbunden. Das gilt für die Abkühlung; bei der Erhitzung tritt die Umwandlung bisweilen in höheren Temperaturen als bei den Kohlenstoffstählen auf, z. B. im Schnellstahl.

In einem bestimmten Prozentgehalt erniedrigen Mangan und Nickel den Haltepunkt des Stahles in solchem Maße, daß er unter die gewöhnliche Temperatur fällt. Auch bei langsamer Abkühlung enthalten diese Stähle den Kohlenstoff in fester Lösung. Die Härte dieser Stähle wird durch den Zustand der festen Lösung des Kohlenstoffs oder des Karbids im Eisen bedingt, wie er durch das Härten in gewöhnlicher Temperatur festgehalten wird. Mangan- und Nickelstähle brauchen nicht gehärtet zu werden, um die überhaupt erreichbare größte Härte zu erhalten. Sie heißen „Selbsthärtende Stähle“.

Der durch Härtung erreichbare Härtezustand eines Stahles ist abhängig von der Kristallisationsgeschwindigkeit seiner Gefügebestandteile. Bei den Kohlenstoffstählen ist sie sehr groß. Das Gefüge, welches bei 800° C aus fester Lösung besteht, vermag sich innerhalb weniger Sekunden in ein Gemenge räumlich voneinander getrennter, deutlich kristallisierter Gefügebestandteile mit verschiedener chemischer Zusammensetzung umzuwandeln.

Bei den selbsthärtenden Stählen ist die Kristallisationsgeschwindigkeit der Gefügebestandteile so gering, daß die Zeit, die nötig wäre, um die Auskristallisation so vollkommen zu bewirken, wie es bei einer ausgeglühten Kohlenstoffstahlprobe der Fall ist, viel größer ist, als die Zeit, die zur Abkühlung der Stähle an der Luft bis zur gewöhnlichen Temperatur gebraucht wird. Alle selbsthärtenden Stähle, Selbsthärter genannt, bleiben, rotwarm gemacht und an der Luft erkalten gelassen, im Zustand der festen Lösung, also im Härtungszustand.

Wie früher erwähnt, werden dem flüssigen Stahlbade zur Erzielung bestimmter Eigenschaften des Stahles Zusätze gegeben.

Digitized by Google

Diese Zusätze beeinflussen auch das Zustandsdiagramm der Eisen-Kohlenstoff-Legierung, so daß es notwendig erscheint, diesen Einfluß kennen zu lernen. Nach dem bereits erwähnten Mangan spielt das Chrom eine hervorragende Rolle. Es legiert sich mit dem Eisen in allen Verhältnissen und diese Legierungen bilden homogene Mischkristalle. Dann bilden Eisen und Chrom auch eine Verbindung, die der Legierung besondere Eigenschaften verleiht. Denn die chemische Verwandtschaft zwischen Chrom und Kohlenstoff ist sehr groß. Sie ermöglicht es, daß Chrom noch mehr Kohlenstoff aufzulösen vermag als Mangan, die sich hierbei bildenden Eisenkarbide sind bei den höchsten Temperaturen beständig und zeigen starke Kristallisationsfähigkeit.

Die Erstarrungspunkte der Eisen-Chrom-Legierungen liegen zwischen 1450° C und 1600° C; die Chromstähle zeichnen sich durch sehr hoch gelegene Umwandlungspunkte aus, d. h. also, daß durch einen Zusatz von Chrom die Umwandlungspunkte der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen in höhere Temperaturen getrieben werden.

Chrom steigert hauptsächlich die Härte der Stähle, weshalb Chromstähle sich in erster Linie für die Werkzeug- und Geschoßfabrikation eignen und hier unübertroffen sind.

Die allgemeine Anwendung des Molybdäns scheitert einmal an dem außerordentlich hohen Preise desselben und dann an dem Umstande, daß Molybdänstähle als unzuverlässig gelten, weil sie trotz vorsichtigster Behandlung an Sprödigkeit und Rissigkeit leiden.

Nach Untersuchungen von Lautsch und Tammann sinkt der Erstarrungspunkt der Eisen-Molybdän-Legierungen mit wachsendem Molybdängehalt, bei 40 bis 50 v. H. Molybdän erreicht er den niedrigsten Wert von 1300° C bis 1350° C. Dabei ist die Wirkung des Molybdäns auf die Lage der Haltepunkte um so stärker, je höher die Stähle erhitzt werden.

Die Herstellung der Molybdänstähle erfolgt nur im Tiegel- oder Elektroofen.

Wolfram steigert im wesentlichen die Härte der Stähle und verfeinert das Korn, so daß es erheblich feiner als das der Kohlenstoffstähle ist. Über Wolframstähle liegen eine große Reihe Untersuchungen vor von Hadfield, Böhler, Swinden u. A., aus denen folgendes zu entnehmen ist.

Digitized by Google

Wolframstähle haben einen niedrigeren Schmelzpunkt als die gewöhnlichen Kohlenstoffstähle. Wolfram bewirkt eine wesentliche Erniedrigung des Haltepunktes, und zwar gilt als beobachtete Tatsache, daß je höher die Anfangstemperatur ist, desto niedriger die Haltepunkte liegen.

Das Kleingefüge gleicht bei geringen Wolframgehalten dem der Kohlenstoffstähle bei allerdings erheblich feinerem Korn. Das Bruchaussehen ist insofern bemerkenswert, als bei einem Kohlenstoffgehalt über 1 v. H. und steigendem Wolframgehalte das Bruchkorn seidenartig wird.

Die Herstellung der Wolframstähle geschieht meist noch im Tiegelofen, doch kann jeder andere Ofen gebraucht werden, in dem das Material nach Zusatz des Ferrowolframs einer wenig oxydierenden Erhitzung ausgesetzt ist.

Das Anwendungsgebiet reiner Wolframstähle ist sehr groß, vornehmlich werden sie dort verwendet, wo man große Härte braucht, also in der Werkzeugfabrikation. In der Waffentechnik bilden sie ein vorzügliches Material für Gewehrläufe, die einen besonders hohen Widerstand gegen das Ausschießen besitzen.

Vanadium, auch Vanadin genannt, zeigt eine sehr starke Verwandtschaft zum Sauerstoff, vor allem eine ganz außerordentlich starke Verwandtschaft zum Kohlenstoff; infolge erstgenannter Eigenschaft wirkt es im Stahl desoxydierend und entgasend, dann dient es auch als härtesteigender Zusatz zum Stahl und zwar in Mengen bis etwa 1 v. H.

Die Herstellung der Vanadinstähle geschieht in der Weise, daß man Ferrovanadin dem bereits geschmolzenen Stahle vor oder unmittelbar beim Vergießen zugibt. Vanadinstähle sind außerordentlich dicht, ihr übriges Verhalten entspricht dem der Stähle ohne dieses.

Nach Untersuchungen von Vogel und Tammann sinkt der Schmelzpunkt der Legierungen mit wachsendem Vanadingehalte. Eisen und Vanadin sind sowohl im festen wie im flüssigen Zustande vollkommen mischbar.

Verwendet werden in der Hauptsache Chromvanadinstähle, die sich durch hohe Elastizitätsgrenze und Bruchfestigkeit bei guten Dehnungen auszeichnen, zu Federn, Achsen, Wellen, Kuppelstangen, Zahnrädern u. a. m.

Digitized by Google

Titan besitzt eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff, weshalb es in den Stählen nur die Rolle eines vorzüglichen Desoxydations- und Entgasungsmittels spielt. Ein Überschuß des Metalles im Stahl bietet keine besondere Vorteile.

Uranstähle und Tantalstähle besitzen keinerlei technische Bedeutung.

Nickel besitzt eine sehr geringe Verwandtschaft zum Sauerstoff und zum Kohlenstoff. Nickelstahl ist daher aus ersterer Eigenschaft nur in geringem Maße rostempfindlich, aus letztgenannter rührt seine Unmöglichkeit, ein Karbid zu bilden, weshalb Nickelstähle nur als Konstruktionsstähle eine allerdings ganz hervorragende Bedeutung besitzen. Ihre Erzeugung kann sowohl im Martinofen wie im Tiegelofen erfolgen.

Die verschiedenen Untersuchungen über die Umwandlungspunkte der Nickelstähle haben ergeben, daß der Beginn der Umwandlungszone mit wachsendem Nickelgehalte rasch sinkt. Was die Gefügebestandteile anbetrifft ist zu bemerken, daß infolge der geringen Verwandtschaft des Nickels zum Kohlenstoff dieses kein Karbid bildet. Es löst den Kohlenstoff im geschmolzenen Zustande wohl auf, scheidet ihn aber beim Erstarren in Form von Graphit wieder aus. Das in den Nickelstählen angetroffene Karbid ist reines Eisenkarbid.

Der Schnellstahl.

Die Leistungsfähigkeit der bisher behandelten Stähle ist an gewisse Grenzen gebunden, die sich aus der Art ihrer Verwendung im Betriebe ergeben. In fast allen Fällen werden die „Edelstähle“ zu spanabhebenden Werkzeugen Verwendung finden. Bei der Spanabhebung vom Werkstück findet eine gewaltsame Trennung der Teile desselben in einem bestimmten, gewollten Sinne statt, wobei die aufgewandte Energie verbraucht wird:

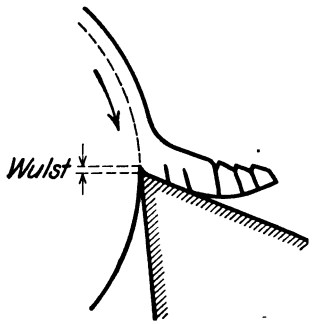


Fig. 133.

1. Zur Stauchung des Spanes, s. Fig. 133, wodurch die latente feste Wärme des Stahles frei wird;

Digitized by Google

2. zur Trennung der Moleküle des Werkstückes oberhalb der Wulstschneide, die hier weiter nichts als den Bruch des Materiales bewirkt;
3. zur Überwindung der Reibung zwischen Schneidenwulst und Werkstück;
4. zur Überwindung der Reibung zwischen Schneidenwulst und Span;
5. zur Überwindung der Reibung zwischen Span und Schneidenfläche.

Die letzten drei Punkte des Energieverbrauches sind von starken Wärmeentwicklungen begleitet, die um so größer sein müssen, je schneller die aufeinanderreibenden Flächen übereinander bewegt werden, d. h. je schneller die Schnittgeschwindigkeit ist.

Nun muß die entwickelte Wärmemenge abfließen können, wozu ihr drei Möglichkeiten gegeben sind: einmal das Werkstück, welches nur einen geringen Teil der entwickelten Wärme empfängt, der sich in der großen Masse des Werkstückes verteilt, ohne eine erhebliche Erhitzung desselben zu bewirken. Dann der Span, der aus seiner Reibung mit dem Schneidwulst sowie aus seiner Reibung mit der Schneidfläche des Werkzeuges — Drehstahl, Hobelstahl u. ä. m. — eine reichliche Wärmeentwicklung erhält. Namentlich letztere kann zur Erhitzung des Spanes bis über Blauwärme mitunter bis zur Farbhitze führen. Sie ist indes auch von untergeordneter Bedeutung, da sie durch den Span wieder abgeführt wird. Das Werkzeug endlich erhält aus allen drei vorgenannten Quellen eine sehr erhebliche Wärmezufuhr, deren unvollkommene Ableitung durch den Schaft und die umgebende Luft eine recht erhebliche Erwärmung der Schneidkante bewirkt, so daß sie weich daher unfähig wird, weiterzuschneiden,

Dieser Umstand setzt der Verwendung der Kohlenstoffstähle Grenzen, indem Schnittgeschwindigkeiten vollkommen ausgeschlossen sind, bei denen die Schneidkante wesentlich über 200° C erhitzt wird. Diese Schnittgeschwindigkeit beträgt 8 bis 10 m/Min. Die ersten verbesserten Werkzeugstähle und Schnellstähle kamen etwa i. J. 1868 auf, erfunden von dem Direktor der Titanic Steel Co. in Sheffield, Mushet. Die planmäßige Entwicklung dieses Mushet-Spezialstahles ist durch Taylor und White

Digitized by Google

ungemein gefördert worden; Taylor selbst kennzeichnet die aufeinanderfolgenden Zeitalter der verschiedenen Werkzeugstähle folgendermaßen:

Zeitabschnitt	C	Si	Mn	Cr	W	Va
Kohlenstoffstahl bis 1894 . .	1,05	0,21	0,20	0,20	—	—
Mushetstahl bis 1900 . . .	2,15	1,04	1,58	0,40	5,44	—
Erster Schnellstahl 1900 . .	1,85	0,15	0,30	3,80	8,00	—
Schnellstahl 1906	0,67	0,04	0,11	5,47	18,91	0,29

Die vorzüglichen Eigenschaften des Schnellstahles wurden bald erkannt und infolgedessen der Markt mit einer Hochflut desselben überschwemmt.

Die Zusammensetzung der Schnellstähle hat verschiedene Wandlungen durchgemacht, Taylor selbst macht folgende Angaben: Hoher Mangangehalt ist wegen der geringen Schmiedbarkeit fehlerhaft, Silizium setzt die Schnittgeschwindigkeit herab; Vanadin dient nur als gutes Reinigungsmittel des geschmolzenen Stahles; Molybdän gilt als Ersatz für Wolfram, wirkt doppelt so stark wie dieses und die damit hergestellten Stähle besitzen geringere Schmiedbarkeit und größere Sprödigkeit.

Über die praktische Leistung der Schnellstähle macht Taylor für eine praktische Schneidarbeit von $1^1/_2$ Stunden bis zum Wiederanschleifen folgende Angaben:

Material	Spantiefe mm	Vorschub mm	Schnittgeschwindigkeit m/Min.
Stahl bis 50 kg Festigkeit . .	10	2	30 bis 40
Stahl mit 50 bis 70 kg Festigkeit	5	2	20 » 30
Stahl mit über 70 kg Festigkeit	5	1,5	10 » 20
Grauguß	5	1,5	15 » 25
Hartguß	1	0,5	1 » 2

Die Hauptbestandteile der Schnellstähle sind außer Eisen und Kohlenstoff: Chrom, Wolfram und Molybdän. Chrom übt eine erhöhende, Molybdän und Wolfram eine stark erniedrigende Wirkung auf die Lage der Umwandlungspunkte des Stahles aus.

Digitized by Google

Die mikroskopischen Studien des inneren Aufbaues der Schnellstähle ergeben das Zusammentreffen der Umwandlung der Schnellstähle mit dem Auskristallisieren bzw. der Lösung der im Stahle vorhandenen Karbide. Im allgemeinen hat Schnellstahl zwei Umwandlungspunkte, und zwar einen oberen bei etwa 740° C und einen unteren bei etwa 400° C.

Nach diesen einleitenden Bemerkungen soll nunmehr zur Wärmebehandlung der Stähle selbst übergegangen werden. Sie besteht aus

A. dem Glühen,
B. dem Härten,
C. dem Anlassen.

A. Das Glühen.

Das Glühen besteht im Erhitzen des Stahles auf Temperaturen oberhalb seiner Umwandlungstemperatur und danach langsamer Abkühlung. Durch das Glühen will man den geschmiedeten oder gewalzten Stahl von Spannungen befreien. Ferner muß kalt bearbeitetes Eisen zur Beseitigung der durch die Kaltbearbeitung verursachten Gefügeveränderungen auf etwa 900° C erhitzt und dann langsam erkalten gelassen werden. Bei Erwärmung auf nur 600° bis 700° C wird es sehr spröde, das Kleingefüge des falsch geglühten Materiales zeigt sehr grobe Kristallisation.

1. Kohlenstoffstahl.

Der Verlauf des Glühvorganges stellt sich als Temperaturzeitkurve in Fig. 134 nach der Linie *a b c d e f g* dar. Durch die beiden Graden *m n* und *o p* ist die Umwandlungszone für den Stahl schematisch gegeben. Das Erhitzen kann ziemlich rasch erfolgen, bei *b* beginnt die Umwandlung, vorhandener Perlit geht in Martensit über, zwischen *b* und *c* löst der aus dem Perlit gebildete Martensit den vorhandenen Ferrit oder Zementit auf, die höchste Glühtemperatur ist bei *d* erreicht, wo nur Martensit vorhanden ist. Je nachdem ob man feines oder gröberes Korn wünscht, läßt man nach mehr oder weniger langer Glühdauer wieder erkalten, wobei zu beachten ist, daß die Abkühlung innerhalb der Umwandlungszone recht langsam

Digitized by Google

zu erfolgen hat. Bei *e* beginnt die Absonderung des Ferrits oder Zementits aus dem Martensit, die bei *f* beendet ist, hier findet der Zerfall des eutektischen Martensits in Perlit statt. Etwa 50 bis 100° C unterhalb der Umwandlungszone kann die weitere Abkühlung rasch erfolgen.

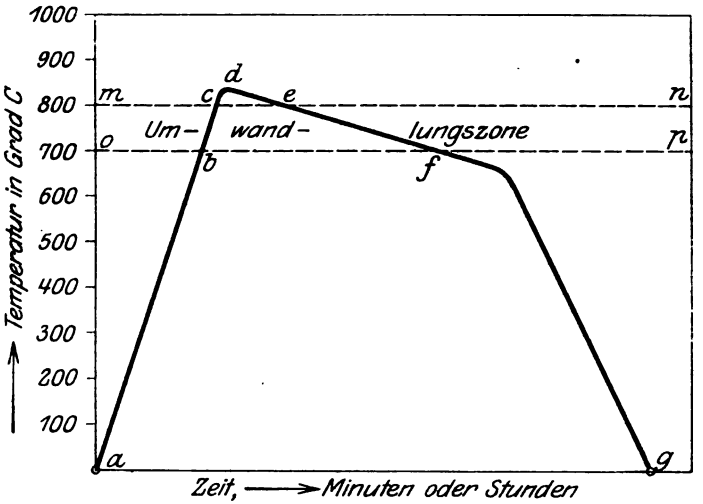


Fig. 134.

2. Manganstahl.

Manganstahl besitzt geringes Wärmeleitvermögen, ist also sehr vorsichtig zu erhitzen.

3. Chromstahl.

Wie schon erwähnt zeichnen sich die Chromstähle durch sehr hoch gelegene Umwandlungspunkte aus, so daß sie bei einer höheren Temperatur geschmiedet werden müssen als Kohlenstoffstähle. Wird hierbei die kritische Zone unterschritten, so muß das Glühen stärker und länger andauern als bei Kohlenstoffstählen. Durch das Glühen wird die Kristallisation des Karbids und damit ein Weicherwerden der Chromstähle bewirkt.

Infolge des geringen Wärmeleitvermögens sind **Chromstähle bei jeder Wärmebehandlung vorsichtig zu erhitzen.**

Digitized by Google

4. Wolframstahl.

Nach Guillet ist der Einfluß der Wärmebehandlung auf Wolframstahl ähnlich dem auf Kohlenstoffstahl. Jedoch ist er, infolge des sehr geringen Wärmeleitvermögens, sehr vorsichtig vorzuwärmen, um Spannungsrisse zu vermeiden.

5. Nickelstahl.

Die Wärmebehandlung der Nickelstähle ist gleich derjenigen der Kohlenstoffstähle, wenn ihre Kohlenstoffumwandlung wie diese vor sich geht. Sollen Nickelstähle mit höherem Nickelgehalt als 3 v. H. weich erhalten werden, so sind sie bei einer Temperatur von 400° bis 600° C zu glühen, d. h. die Temperatur muß unterhalb des Umwandlungspunktes bleiben. Diese ist also in jedem Falle vorher genau zu ermitteln.

6. Schnellstahl.

Es ist vorteilhaft, wenn Schnellstahl bei der Fertigstellung im Stahlwerk geglüht wird, weil hierbei schon eine möglicherweise fehlerhafte Vorbehandlung beim Schmieden und Walzen oder der metallurgischen Herstellung bemerkt wird und der Stahl im Werk zurückgehalten werden kann. Der Besteller ist ja auch in vielen Fällen nicht in der Lage, den Stahl richtig auszuglühen. Die Glühtemperatur kann zwischen 700° und 800° C, d. h. unterhalb der Umwandlungstemperatur beim Erhitzen liegen, das Abkühlen kann langsam erfolgen. Zweckmäßig ist es, den Stahl — je nach Größe der zu glühenden Stücke — in 2 bis 6 Stunden von der erreichten höchsten Glühtemperatur von 800° bis 900° C auf etwa 500° C abzukühlen, weil die Kristallisationsgeschwindigkeit der Gefügebestandteile sehr gering ist. Empfehlenswert ist es auch, die zu glühenden Stähle in einer Muffel auf 800° C oder etwas höher zu erhitzen und den Ofen mit dem Inhalte erkalten zu lassen, was 12 bis 18 Stunden erfordert.

B. Das Härten des Stahles.

Ganz allgemein gesagt besteht es in dem Erhitzen des Stahles auf Temperaturen oberhalb seiner Umwandlungstemperatur, also bis über den oberen Haltepunkt Ac_3, und darauffolgender Abkühlung, die bewirkt, daß eine Umwand-

Digitized by Google

lung des Stahles verhindert wird. Das Gefüge vor dem Härten ist somit ein anderes als nachher. Besteht das Gefüge der meisten Stähle vor dem Härten aus Ferrit und Karbid, so geht es durch das Härten in das der festen Lösung über. Fig. 134a zeigt in graphischer Darstellung das Härten eines Kohlenstoffstahles, die Graden $m\,n$ und $o\,p$ Anfang und Ende der Umwandlungszonen desselben.

Der Beginn des Erhitzens von gewöhnlicher Temperatur aus erfolgt in Punkt a, bei b ist die Umwandlungszone erreicht, wo entsprechend der eutektischen Temperatur $H\,J$, Fig. 132, der

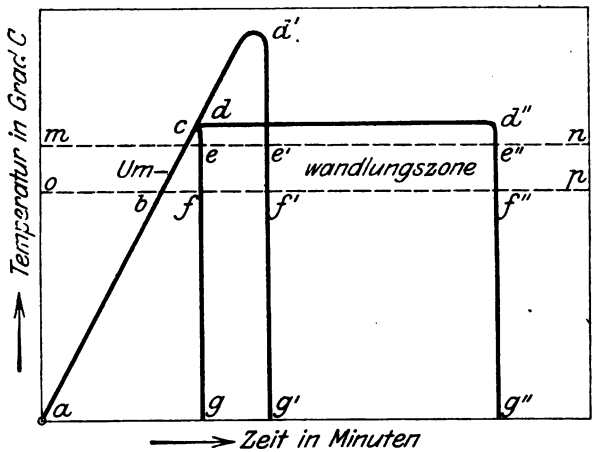


Fig. 134a.

vorhandene Perlit in Martensit umgewandelt und bei weiterem Erhitzen der überschüssige Ferrit oder Zementit aufgelöst wird, was bei c beendet ist.

Wenn auch jetzt der Stahl abgeschreckt werden könnte, weil die homogene feste Lösung des Martensits erreicht ist und nur dieser Zustand festgehalten zu werden braucht, muß man doch mit der Härtetemperatur etwas über das Ende der Umwandlungstemperatur hinausgehen, um die volle Härte zu erreichen. Bei d erfolgt das Abschrecken, es ist durch die senkrechte Linie $d\,e\,f\,g$ dargestellt. Den höchsten Grad von Härte, sogenannte Glashärte, erlangt man durch sehr rasches Abkühlen in einem Mittel, das die Wärme gut und rasch abführt. Dies

Digitized by Google

ist im allgemeinen Wasser. Andere Abschreckmittel, wie Öl, Quecksilber, Salzwasser u. dgl. m., leiten infolge ihrer geringeren Verdampfungswärme die Wärme langsamer ab, vermögen deshalb dem Werkzeug keine so große Härte zu geben wie Wasser Sie finden daher dort Anwendung, wo diese Eigenschaften erwünscht sind.

Fig. 134a zeigt aber noch den Vorgang der überhitzten Härtung in zweierlei Weise. Einmal kann sie durch zu hohe Härtetemperatur erfolgen, deren Verlauf dargestellt ist durch den Linienzug $a\,b\,c\,d'\,e'\,f'\,g'$, oder aber durch zu langes Erhitzen des Stahles auf richtiger Härtetemperatur wie die Kurve $a\,b\,c\,d''\,e''\,f''\,g''$ zeigt. In beiden Fällen hat der Stahl oberhalb der Umwandlungszone Gelegenheit zu starker Kristallisation.

1. Kohlenstoffstahl.

Steigt der Kohlenstoffgehalt des Stahles, so wächst damit der Karbidgehalt und mit diesem die Härte.

2. Manganstahl.

Er verhält sich wie Kohlenstoffstahl. Die größte Härte zeigt Manganstahl mit 5 bis 6 v. H. Mangangehalt.

3. Chromstahl.

Die Härtetemperatur für Werkzeuge liegt höher als die jenige der Kohlenstoffstähle. Als Abschreckmittel verwendet man zweckmäßig nur Öl, da gehärtete Chromstähle leicht zur Bildung von Spannungsrissen neigen.

4. Molybdänstahl.

Durch das Härten verändert sich das Kleingefüge ähnlich dem der Kohlenstoffstähle.

5. Wolframstahl.

Die Wirkung des Härtens ist hier stärker als bei Kohlenstoffstählen. Steigt die Abschrecktemperatur nur 20° bis 30° C über die richtige Härtetemperatur, so nimmt die Härte ab.

Digitized by Google

6. Vanadinstahl.

Eine Zunahme der Härte mit wachsendem Vanadingehalt erfolgt so lange, wie der Kohlenstoff nur in Form von Perlit vorhanden ist; tritt Karbid auf, so nimmt die Härte ab.

7. Nickelstahl.

Hier kann das Härten nur dann erfolgreich sein, wenn der Stahl bis oberhalb seines Umwandlungspunktes für Erwärmen erhitzt wird.

8. Schnellstahl (Fig. 135).

Die von Taylor seinerzeit angegebenen Vorschriften haben heute nur für Dreh- und Hobelstähle Gültigkeit. In dem Diagramm Fig. 135 sind sie sehr klar zum Ausdruck gebracht. Der

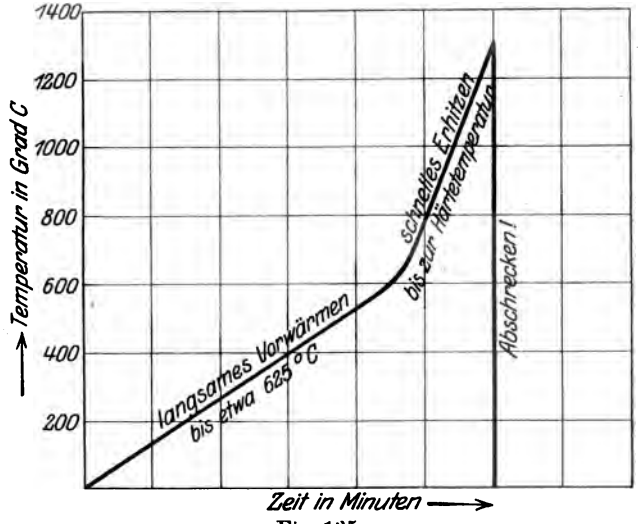


Fig. 135.

Stahl soll langsam bis Kirschrotglut, etwa 625° C, von da ab rasch bis nahe an den Schmelzpunkt erhitzt werden, danach folgt rasches Abkühlen bis etwa 625° C, dann rasches oder langsames Abkühlen bis auf Lufttemperatur.

Digitized by Google

Für alle anderen Werkzeuge sind Abweichungen geboten, die sich nach dem Verwendungszweck der Werkzeuge, nach den Materialeigenschaften des zu bearbeitenden Werkstückes richten.

Härtetemperaturen:

Gewindebohrer, Reibahlen, Spiralbohrer in mittleren Stärken	900° bis 950°
dieselben Werkzeuge in größeren Stärken	950° „ 1000°
Fräser, Schnitte	1000° „ 1100°
Stempel	1100° „ 1200°
Drehmesser	1300°

XIII. Das Anlassen.

Das Anlassen wird zur Herabminderung der Sprödigkeit des Stahles vorgenommen. Es besteht in dem Erhitzen gehärteten Stahles auf Temperaturen unterhalb seiner Umwandlungstemperatur für Erwärmen mit darauffolgender Abkühlung. Hierdurch erfährt der Stahl teilweise die Rückumwandlung, die durch das Abschrecken beim Härten unterdrückt wurde; er erhält ein Gefüge anderer Art als das durch das Härten geschaffene.

Den Verlauf des Anlassens zeigt Fig. 136. Bei *a* Beginn

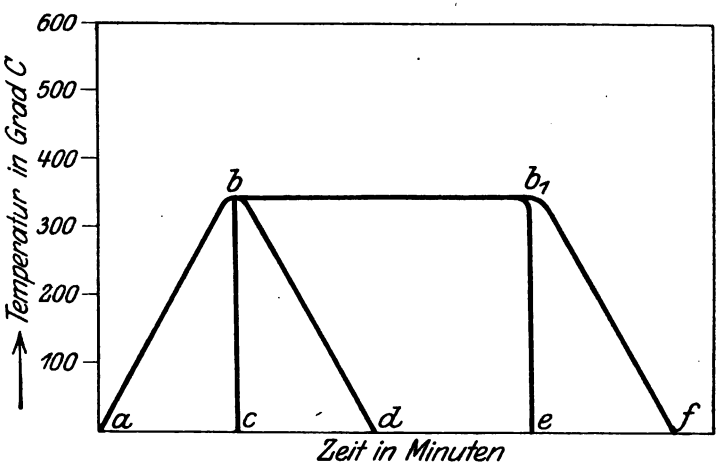


Fig. 136.

Digitized by Google

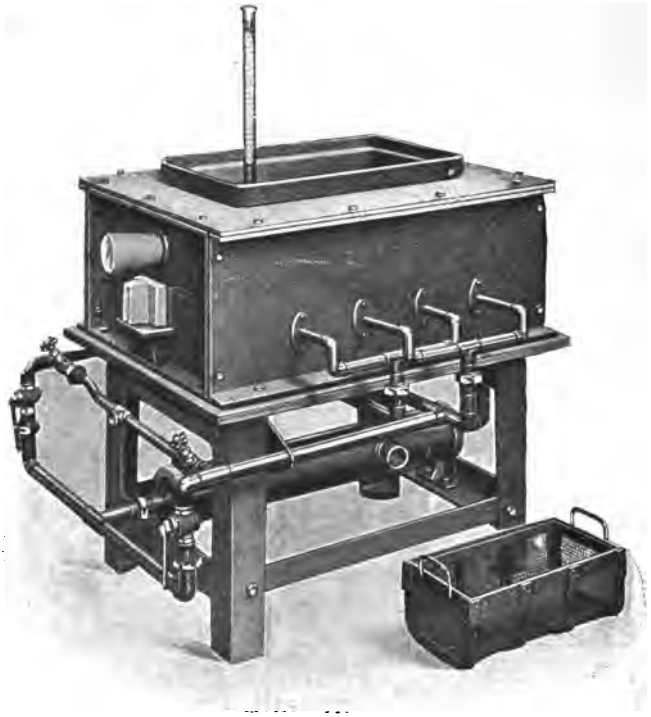


Fig. 137. Gas-Tiegel-Anlaßofen.

des Erwärmens, b höchste Anlaßtemperatur, Abschrecken nach bc oder $b_1 e$ bzw. Abkühlen nach bd oder $b_1 f$.

Fig. 138. Blaubrenner.

Die Ausführung des Anlassens kann verschieden gehandhabt werden. Es ist im Abschnitt XIV bei jedem der an dieser Stelle angegebenen Werkzeuge angegeben.

Fig. 138 zeigt den zum Anlassen geeigneten Gasbrenner — sogen. Blaubrenner — weil die nicht leuchtende, also blau brennende Flamme benutzt wird.

Ein vielfach zum Anlassen benutzter Gas-Tiegel-Anlaßofen ist in Fig. 137

Digitized by Google

dargestellt. Als Anlaßflüssigkeit dient ein Öl-, Talg- oder Salpeterbad. Geeignete Ölsorten können ohne Entflammungsgefahr bis auf etwa 330° C erhitzt werden. Zur Temperaturmessung dient ein Thermometer.

Zum Anlassen im Sandbade wird trockener Sand verwendet, der in einem Blechkasten erwärmt wird.

XIV. Das Härten verschiedener Werkzeuge.

Stähle zum Abdrehen von Hartgußwalzen.

Stahlsorte: sehr hart oder Wolframstahl.

Ausführung: Feuerbehandlung. Sie erfolgt wie bei Drehstählen. Das Anwärmen zum Härten geschieht in der Muffel. Man kann auch ein mit Holzkohle gefülltes Stück Gasrohr, in das der Stahl eingepackt und welches an beiden Enden mit Lehm luftdicht verschlossen ist, verwenden. Der eingepackte Stahl wird im Schmiedefeuer langsam erwärmt. Ist das Rohr außen gut hellwarm, fast weißwarm, bleibt es noch kurze Zeit in der Hitze, der Stahl wird danach dunkelrot warm sein.

Abschrecken: Es geschieht in mit Säure oder Salzlauge vorbereitetem Wasser. Die Mischung ist auf Seite 115 u. flg. angegeben.

Anlassen: Der abgekühlte Meißel wird im warmen Sandbade hellgelb angelassen, im Wasser abgeschreckt. In gleicher Weise verfährt man mit profilierten Walzendrehmeißeln.

Zentrumbohrer, Kanonenbohrer, Bohrmesser.

Stahlsorte: hart, mittelhart; Wolframstahl; für Bohrmesser auch Schnellaufstahl.

Ausführung: Feuerbehandlung, Die drei ersteren Stahlsorten werden zum Schmieden im gut durchgebrannten Kohlen- oder Holzkohlenfeuer dunkelrot warm gemacht; Anstauchen des Stahles ist zu vermeiden. Nach dem Schmieden sind Zentrumbohrer, Kanonenbohrer oder Bohrmesser zu glühen, um die Spannungen zu entfernen, wodurch Rißbildungen beim späteren Härten vermieden werden.

Härten: Bis zur Dunkelrotglut erwärmen; in Wasser von etwa 20° C abschrecken unter lebhaftem Hin- und Herbewegen.

Digitized by Google

Anlassen: Zentrumbohrer können mit ihrer eigenen Wärme im Sandbade oder auf glühenden Eisenplatten angelassen werden. Anlaßfarbe hellgelb.

Bohrmesser werden beim Anlassen mit dem Rücken auf ein glühendes Eisenstück oder in das Sandbad, Schneide nach oben, gestellt. Der Rücken bleibt hierdurch etwas weicher, es läßt sich im Halter besser festkeilen.

Bohrmesser aus Schnellstahl werden hellrot warm gemacht, dann in Petroleum oder mit Rüböl vermischtem Talg abgekühlt; Anlassen ist nicht nötig.

Spiralbohrer werden im allgemeinen nicht selbst angefertigt. Stahlsorte mittelhart oder extra zähhart. Stahl auf Länge warm abhauen, im Kasten in Holzkohle gut glühen. Nach dem Drehen und Fräsen werden sie mit Holzkohlen wie vorher in einen Kasten eingepackt und im Glühofen erwärmt. Steht ein Salzbadhärteofen zur Verfügung, so werden sie einzeln in das Salzbad gehängt. Sind nur hie und da einzelne Spiralbohrer zu härten, so packt man sie mit Holzkohlenpulver in ein Stück Gasrohr, das mit Lehm gut verschlossen wird; die Erwärmung geschieht wie vorstehend angegeben.

Das Abschrecken erfolgt in Salzwasser oder in Sodawasser, wobei die Bohrer senkrecht in die Härteflüssigkeit einzutauchen, dabei auf und ab zu bewegen und zu drehen sind. Einfacher ist eine Vorrichtung, bei der die Flüssigkeit durch eine kleine Pumpe ständig in Bewegung gehalten wird; die Bohrer werden dann mit der Zange eingehängt. Fig. 139a.

Anlassen: Das Anlassen geschieht im Sandbade. Anlaßfarbe dunkelgelb.

Spiralbohrer aus Schnellstahl werden mit Holzkohlenpulver in den Kasten gepackt und hellrotwarm erhitzt.

Das Abschrecken geschieht in Petroleum oder Rüböl.

Bei Selbstanfertigung der Spiralbohrer ist zweckmäßigerweise der Durchmesser des Bohrers etwas größer als verlangt zu nehmen, um bei etwaigem Verziehen beim Härten dieses durch Schleifen auf der Rundschleifmaschine ausgleichen zu können.

Gewindebohrer. (Fig. 139b.)

Stahlsorte: mittelhart, extra zähhart oder Wolframstahl. Die Bohrer sind auf die entsprechende Länge von der Stange

Digitized by Google

warm abzuhauen, oder kalt abzusägen. Danach sind die Stücke gut auszuglühen, was besonders bei langen Gewindebohrern für Stehbolzen u. dgl. nötig ist. Nach dem ersten Drehspan, Schrubspan, sind die Stücke nochmals sorgfältig zu glühen, erst dann ist fertig zu drehen, das Gewinde zu schneiden und die Nut einzufräsen.

Feuerbehandlung: Bei kleiner gleichzeitig zu härtender Zahl der Gewindebohrer packt man sie mit Holzkohlenpulver in ein Stück Rohr, das beiderseits gut verschlossen wird, und erhitzt dies im Schmiedefeuer rotwarm. Besser ist ein Salzbadhärteofen, wo die Bohrer in das Salzbad eingetaucht und erwärmt werden.

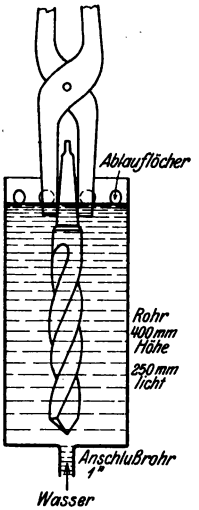


Fig. 139a. Abkühlen von Spiralbohrern.

Fig. 139b. Gewindebohrer.

Abschrecken: Die Bohrer werden senkrecht in Wasser von 20° C, oder in Wasser, auf dem eine Ölschicht sich befindet, bis über den letzten Gewindegang eingeführt und abgekühlt.

Anlassen: Man läßt im Sandbade oder am „Blaubrenner", Gasbrenner, an.

Das Vierkant für das Windeisen ist auszuglühen, das im Bleibade — geschmolzenes Blei im Bleilöffel — geschehen kann.

Gewindebacken oder Schneidbacken.

Stahlsorte: wie bei Gewindebohrern.

Der Stahl wird in der erforderlichen Breite und Stärke warm abgehauen, kalt abgesägt oder auf der Hobelmaschine abgeschnitten; dann werden sie fertig bearbeitet und das Gewinde eingeschnitten.

Das Härten erfolgt wie bei den Gewindebohrern.

Digitized by Google

Anlassen: Man legt die Backen auf eine hellrot-warme Eisenplatte, in ein Sandbad oder läßt im Blaubrenner an.

Das Anlassen selbst geschieht vom Rücken aus. Die Anlaßfarbe richtet sich nach der verwendeten Stahlsorte; von den Schneidzähnen soll sie langsam strohgelb bis dunkelgelb werden.

Fräser. (Fig. 140 u. 141.)

Stahlsorte: hart oder mittelhart; für die Holzbearbeitung extra zähhart.

Fig. 140. Fräser.

Fig. 141. Gewindefräser.

Kleinere Fräser werden von der Stange abgesägt oder auf der Bank abgestochen, größere ausgeschmiedet. Beim Abschmieden ist reichlich Material zur Bearbeitung zuzugeben, weil durch das Schmieden die äußeren Ränder sehr leiden und sonst leicht Härterisse entstehen. Nach dem Schmieden ist das Werkstück möglichst unter Luftabschluß auszuglühen.

Feuerbehandlung: Kleine Fräser werden, falls Härteöfen vorhanden sind, mit Holzkohlenpulver in einen Kasten gepackt und erwärmt, bei Salzbadhärteöfen im Bad erhitzt.

Im gewöhnlichen Schmiedefeuer geschieht das Erhitzen in der Weise, daß man ein auf einer Seite zugeschlagenes Stück Rohr einbaut (siehe Fig. 142). Für größere Fräser hilft man sich in der Weise, daß man ein gutes Feuer macht, legt darauf eine dicke Eisenplatte, die man mit Ziegeln umstellt, und deckt durch ein Blech oben ab. In diesen selbstgebauten Ofen bringt

Digitized by Google

man Holzkohle, legt den Fräser darauf, der ungleichmäßig erwärmt werden kann und gleichzeitig vor dem Gebläsewind geschützt ist, wodurch die Ränder nicht leiden.

Man erhitzt auf Dunkelrotglut, etwa 750° C.

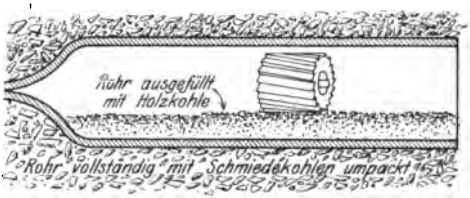


Fig. 142. Fräser in einem als Muffel verwendeten Rohrstück.

Abschrecken: Bei kleinen und bei größeren Fräsern verwendet man unterbrochene Härtung, d. h. sie werden im Wasserbade unter Auf- und Abbewegen so lange abgeschreckt, bis das Zischen aufhört bzw. bis der rotwarme Fräser schwarz geworden ist, dann werden sie ins Ölbad gebracht, worin sie vollständig erkalten. Zum richtigen Halten und Einführen in die Härteflüssigkeit sind Körbe aus Draht, die man sich leicht selbst zurechtbiegen kann, oder

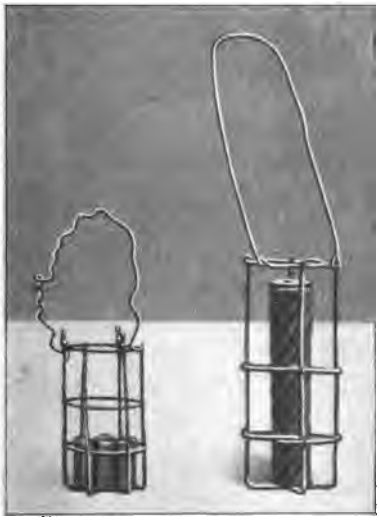


Fig. 143. Drahtkörbe zum Abkühlen von Fräsern.

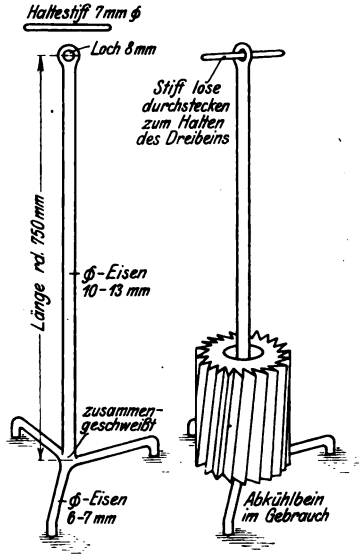


Fig. 144. Dreibein zum Abkühlen von Fräsern.

Digitized by Google

ein sogenanntes Dreibein, Fig. 144, zu empfehlen. Hält man den Fräser mit der Zange, so kann an der Stelle, wo die Zange faßt, der Fräser möglicherweise keine genügende Härtung erfahren (Fig. 143).

Bei dieser unterbrochenen Härtung ist kein Anlassen nötig.

Beim direkten Härten der Fräser in Wasser liegt die Gefahr des Verziehens und Reißens nahe. Das Erwärmen erfolgt wie vorstehend beschrieben und in derselben Weise, dann wird in Wasser oder Salzwasser von etwa 18° bis 20° C unter lebhaftem Hin- und Herbewegen vollständig abgekühlt. Dabei soll das Werkstück bis zum völligen Erkalten frei im Wasser hängen, darf also nicht auf dem Boden des Härtebades liegen. Das Anlassen geschieht im Sandbade oder auf gut hellrotwarm gemachtem Dorn.

Lange Fräser oder solche von komplizierter Form sind, um die Gefahr der Bildung von Härterissen zu vermeiden, aus mehreren Teilen zusammenzusetzen.

Hohlfräser. Das Abkühlen erfolgt durch einen kräftigen Wasserstrahl aus einer Leitung oder durch Wasserguß aus einer Kanne.

Holzfräser. Die Abkühlung geschieht in Petroleum, Öl, Fischtran oder Talg; auch ein Gemisch dieser Stoffe kann man verwenden, jedoch muß für reichliche Menge der Kühlflüssigkeit gesorgt sein, um sie dauernd auf der richtigen Kühltemperatur zu halten. Es wird hier vielfach an der unrechten Stelle gespart und damit natürlich keine genügende Abkühlung erreicht.

Holzfräser kann man auch in einem Metallbade, bestehend aus 5 Teilen Zink, 10 Teilen Blei und 3 Teilen Zinn abkühlen. Die Fräser sind, wie oben angegeben, zu erwärmen und dann in das geschmolzene Metall einzutauchen; nach einiger Zeit werden sie herausgenommen und in Wasser unter lebhaftem Hin- und Herbewegen vollständig abgekühlt.

Fräser zur Bearbeitung von Horn. Sie werden aus so hartem Stahle gefertigt, daß ein Härten nicht notwendig ist.

Digitized by Google

Rohrfräser und Rohrschneider.

Stahlsorte: mittelhart, extra zähhart.

Feuerbehandlung: Das Anwärmen geschieht in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer. Sowohl bei Innen- wie bei Außenfräsern ist besondere Sorgfalt auf das Erwärmen zu legen, damit die Fräser weder an der Spitze noch an den eingefrästen Schneidekanten nicht zu warm werden; am besten erhitzt man sie in der eingebauten Rohrmuffel.

Abkühlen: Der Innenfräser wird wie ein Hand- oder Drehmeisel abgekühlt und aus seiner eigenen Wärme hellgelb angelassen.

Der Außenfräser wird durch einen Wasserstrahl oder Guß aus einer Kanne genau in die Höhlung des Fräsers hinein ganz abgekühlt.

Anlassen: Man legt den Fräser auf eine hellrotwarme Eisenplatte, in ein Sandbad oder läßt im Blaubrenner an. Anlaßfarbe hell- bis dunkelgelb.

Reibahlen.

Stahlsorte: mittelhart oder extra zähhart.

Das Werkstück ist in den erforderlichen Abmessungen von der Stange warm abzuhauen oder kalt abzusägen, worauf es sorgfältig auszuglühen ist, einmal, um die Bearbeitung auf den Werkzeugmaschinen zu ermöglichen, und dann, um vorhandene Spannungen auszuschalten, so daß beim Härten kein Verziehen eintritt.

Das Härten geschieht, wie bei den Spiralbohrern angegeben wurde.

Das Anwärmen der fertig bearbeiteten Reibahlen hat sehr sorgfältig zu geschehen, da sie sonst sich sehr leicht verziehen.

Abschrecken: Die Reibahle wird senkrecht in die Abkühlflüssigkeit gebracht und auf- und abwärtsbewegt.

Recht gut bewährt hat sich eine Abkühlvorrichtung, wie sie ähnlich zum Abhärten der Spiralbohrer verwendet wird. Ein Rohrstück von etwa 200 bis 250 mm Durchmesser, 500 bis 600 mm Länge, am unteren Ende mit einem Flansch zum Aufschrauben auf die Leitung mit $^3/_4$″ Gasgewinde versehen,

Digitized by Google

wird auf das Wasserzuflußrohr aufgeschraubt. Das Kühlwasser tritt von unten ein; die Abkühlung ist eine sehr gute, ein Verziehen bei gleichmäßigem Anwärmen fast ausgeschlossen.

Besonders zu empfehlen ist diese Einrichtung zum Abkühlen von konischen Reibahlen.

Anlassen: Je nach der Stahlsorte und je nach dem Gegenstande, der mit dem Werkzeuge zu bearbeiten ist; in der Regel hell- bis dunkelgelb.

Scherenmesser, Kreisscherenmesser u. dgl.

Stahlsorte: extrazäh, zäh.

Feuerbehandlung: Das Anwärmen zum Schmieden hat in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer auf Hellrotglut zu erfolgen. Nach dem Schmieden sorgfältig ausglühen.

Zum Härten werden die Messer so erhitzt, daß der Gebläsewind das Werkzeug nicht trifft. Entweder bedeckt man das Feuer mit einer eisernen Platte oder mit einem U-Eisen und legt das Messer darauf. Bei längeren Messern soll das Feuer mehrere Windformen oder Düsen haben, damit das Anwärmen gleichmäßig erfolgen kann.

Abschrecken: Man kühlt in Wasser von 18° bis 20° C oder in Wasser mit einer Ölschicht ab; die Messer sind genau senkrecht einzuführen, dann auf und ab zu bewegen.

Lange, dünne Scherenmesser, zum Schneiden von Papier, Leder u. ä. kühlt man in einem länglichen Kasten in Talg und Rüböl ab. Der Kasten muß genügend groß zur Aufnahme reichlicher Kühlmengen sein. Vorteilhaft ist es, den Ölbehälter in einen größeren mit Wasser gefüllten zu hängen, wodurch das Ölbad dauernd gekühlt wird.

Schwere Scherenmesser von kurzer, breiter Form werden nur an der Schneide warm gemacht und in Wasser, unter Durchschneiden mit der Schneide zuerst der Wasseroberfläche, langsam abgekühlt.

Anlassen: Man läßt mit der Eigenwärme an. Anlaßfarbe violett, oder bis eine scharfe Sägenfeile eben faßt. Darauf wird in Öl kurz abgeschreckt und in Wasser vollständig abgekühlt.

Digitized by Google

Fassonmesser zum Stanzen von Gummi, Leder u. dgl., für Sohlen, Absätze u. a. m.

Stahlsorte: I[a] Schweißstahl.

Feuerbehandlung: Schmiedehitze hellrotwarm; Schweißhitze weißwarm, geschmolzenen pulverisierten Borax mit Zusatz von Eisenfeilspänen beim Schweißen verwenden.

Nach dem Schweißen gut ausglühen in Holzkohle oder ausgebrannter Schmiedekohle.

Abschrecken: Es kann in Kalkwasser, Petroleum, Rüböl oder Talg erfolgen.

Anlassen: Man läßt im Sandbade an, Schneide nach oben; Anlaßfarbe gelb bis violett, oder man prüft die Härte mit der Sägefeile.

Lochstempel.

Stahlsorte: mittelhart, zähhart, kleinere aus Silberstahl.

Feuerbehandlung: Ausschmieden ist zu vermeiden. Die Stempel sind von der Stange passend warm abzuhauen oder kalt abzusägen; sie sind dann gut auszuglühen. Beim Drehen ist zu beachten, daß nach der Schneidkante zu der Stempel etwas konisch zu drehen ist, damit er sich nicht festschneidet. Beim Erwärmen zum Härten soll dies vom Einspannkonus aus geschehen, so daß die Schneidkante dem Schmiedefeuer nicht direkt ausgesetzt ist und langsam warm werden kann.

Abschrecken: Der Lochstempel ist mit dem Einspannkonus zuerst in die Härteflüssigkeit einzutauchen, dann lebhaft zu bewegen.

Anlassen: Anlaßfarbe violett; danach Abkühlung in Ölen und in Wasser vollständig auskühlen.

Matrizen: Zu beachten ist, daß beim Bearbeiten des Werkzeuges die äußeren Ecken gut zu brechen sind, um ein Festklemmen im Unterteil zu vermeiden.

Gravierte Prägestempel, Schlagnummern usw. (Fig. 145.)

Stahlsorte: mittelhart, ev. hart; vielfach wird von den Werken ein Spezialstahl besonders empfohlen. Es werden meist solche Stangenquerschnitte gewählt, daß eine Bearbeitung durch Schmieden nicht nötig ist.

Digitized by Google

Feuerbehandlung: Die fertig gravierten Stempel werden unter völligem Luftabschluß erwärmt.

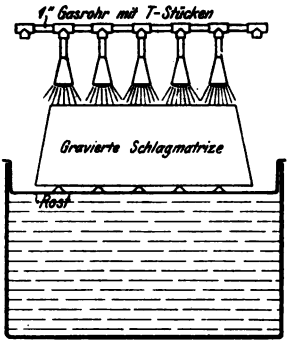


Fig. 145. Abkühlen einer Schlagmatrize.

Abschrecken: Man kühlt am besten durch einen Wasserstrahl ab, bei größerem Stempel nimmt man eine entsprechend größere Brause.

Rollenmesser.

Stahlsorte: wie bei Scherenmessern.

Feuerbehandlung: wie bei Scherenmessern.

Abschrecken: in Salzwasser unter Benutzung eines Dreibeines oder Drahtkorbes.

Anlassen: auf einem Dorn oder im Sandbade. Anlaßfarbe violett.

Anfertigung von Schnitten.

Es sind dies wohl die am meisten gebrauchten Werkzeuge.

Stahlsorte: für Unterteile zähhart oder I^a Schweißstahl; für Oberteile mittelhart oder Spiralstahl, Spezialstahl.

Das Schmieden ist tunlichst zu vermeiden, weil hierdurch auch bei noch so großer Vorsicht die äußeren Ränder zu viel leiden und später leicht Härterisse entstehen. Die Stahlwerke können jetzt so rasch jeden gewünschten Stangendurchmesser beschaffen, daß es billiger ist, das Material zu beziehen. Muß man aber schmieden, oder bezieht man geschmiedete Schnitte, so ist reichlich Material zuzugeben, damit die äußeren Ränder bei der Bearbeitung durch Abhobeln oder Abdrehen wegfallen. Alle Schmiedestücke wie auch abgestochenes Material ist gut zu glühen, am besten mit Holzkohlen in einem luftdicht verschlossenen Kasten.

Feuerbehandlung: Das Erwärmen zum Härten geschehe mit großer Vorsicht. Sind keine Einsatzhärteöfen vorhanden, so lege man eine Eisenplatte oder ein Stück U-Eisen über das Herdfeuer und baue sich durch Umstellen mit Ziegelsteinen einen kleinen Härteofen. Das Ober- oder Unterteil, mit Holzkohlen umpackt, um die Hitze in der aus einem ⊔-Eisen

Digitized by Google

selbst hergestellten Muffel besser zu halten, lege man mit der Schneide nach oben und erwärme unter öfterem Wenden, dunkelrot.

Abschrecken: in Wasser von 20° C, oder in Wasser mit Ölschicht; beim milden Stahl auch in Salzwasser. Die Oberteile werden, mit der Schnittfläche zuerst eintauchend, bis etwa zur Hälfte im Bade abgekühlt. Das Anlassen geschieht aus eigener innerer Wärme dunkelgelb. Auch kann das Abkühlen durch einen kräftigen Wasserstrahl erfolgen, worauf das Oberteil im Ölbad erkalten kann. Ein Anlassen ist nur notwendig, wenn erforderlich, z. B. bei Schnitten zum Stanzen weicherer Bleche, bei härteren Blechen nicht.

Die Unterteile bringt man sämtlich in die Härteflüssigkeit, kühlt ganz ab und läßt im Sandbad oder auf glühendem Eisen an. Die Anlaßfarbe ist hellgelb bis violett, je nach der Stahlsorte, und zwar läßt man zähhart dunkler an als Schweißstahl, der heller anzulassen ist.

Zur größeren Sicherheit kann man auch unterbrochene Härte anwenden, d. h. in Wasser abschrecken und in Öl auskühlen, oder mit kräftigem Wasserstrahl abschrecken und im Ölbad auskühlen.

Erfolgt das Abhärten mit der Brause oder Wasserstrahl, so ist darauf zu achten, daß die innere Schnittfläche ausreichend vom Wasser bespült wird.

Nach dem Härten ist ein Überschleifen der Schnittflächen von Ober- und Unterteil sehr zu empfehlen.

Hammergesenke.

Stahlsorte: zäh, extrazäh; vielfach auch billiger Gußstahl; es kommt darauf an, was im Gesenke verarbeitet werden soll.

Gesenke werden meist von Spezialfabriken hergestellt.

Feuerbehandlung: Die abgeschmiedeten Gesenke sind vor der Bearbeitung gut auszuglühen. Das Anwärmen zum Härten hat von unten nach oben zu geschehen, d. h. die eingearbeitete Bahn bzw. Fasson soll oben liegen, wobei die Außenränder vom Feuer nicht zu stark angegriffen werden dürfen. Unter Wenden und Drehen wird auf dunkelrotwarm erhitzt, dann stellt man das Gebläse ab und läßt gut durchziehen, damit sich die Wärme gleichmäßig verteilt.

Digitized by Google

Fig. 146. Hammergesenk.

Abschrecken: in Wasser oder Salzwasser; da Gesenke sich schlecht mit der Zange fassen lassen, legt man sie, die zu härtende Bahn nach unten, in einen Korb aus starkem Drahtgeflecht und kühlt unter Hin- und Herbewegen ab. Da das untere Ende weich bleiben soll, genügt es, die Arbeitsbahn etwa 40—50 mm tief einzutauchen. Das Auskühlen erfolgt auf einem Rost, der etwa

Fig. 146. Hammergesenk.

40—50 mm unter der Wasseroberfläche angebracht ist und auf den man die Gesenke legen kann.

Digitized by Google

Gesenke, welche sehr tief eingearbeitet sind, härtet man durch einen kräftigen, fallenden Wasserstrahl.

Anlassen: aus eigner, innerer Wärme; Anlaßfarbe gelb bis violett, dann in Öl abschrecken und in Wasser auskühlen lassen.

Hämmer.

Stahlsorte: zäh bis weich, oder billiger Spezialhammerstahl, der ziemliche Wärme vertragen kann.

Das Loch für den Hammerstiel soll gerade durchgeschlagen sein und die Wandung genügend stark bleiben. Nach dem Schmieden ist gut auszuglühen.

Härten: Kleine Hämmer macht man ganz warm, packt sie im Loch und kühlt unter abwechselndem Drehen von Finne und Bahn in kaltem Wasser ab; an der Lochung muß das Material weich bleiben. Größere Hämmer werden erst an der Finne erwärmt und abgekühlt, danach an der Bahn. Man kann sie auch vollständig erwärmen, taucht die Finne zum Härten ins Wasser und härtet die Bahn unter einem kräftigen, fallenden Wasserstrahl. Die Lochung muß weich bleiben, damit sie an den Rändern beim Gebrauche nicht reißt. Fig. 147.

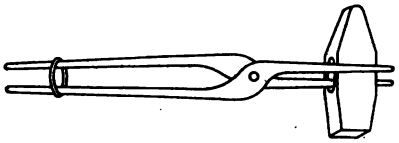


Fig. 147. Zum Härten richtig gefaßter Hammer.

Anlassen: Aus eigener innerer Wärme, je nach der Stahlqualität violett bis blau. Zweckmäßig ist es, mit der Sägefeile zu probieren; sobald sie eben anfaßt, ist der richtige Härtegrad erreicht. Danach Abschrecken in Öl, Auskühlen in Wasser.

Handmeißel.

Stahlsorte: zähhart. Die Stahlwerke liefern die Handmeißel fertig im Gesenk vorgeschmiedet.

Da Meißelstahl ein Massenartikel ist und viel minderwertiges Material auf den Markt kommt, achte man besonders auf die Fabrikmarke.

Beim Schmieden ist große Sorgfalt anzuwenden; man erwärme in gut durchgebranntem Kohlenfeuer dunkelrot warm,

Digitized by Google

und recke die Form gleichmäßig heraus. Die Folgen fehlerhaften Schmiedens können sein: Unganzwerden, Härterisse beim Härten, oder das Werkzeug hält beim späteren Gebrauch nicht.

Beim Härten wird dunkelrot angewärmt, dann in kaltem Wasser unter Hin- und Herbewegen abgekühlt, wobei der Meißel 30—40 mm tief eingetaucht wird. Schreckt man kürzer ab, so scheren sie sich bei schwerer Arbeit leicht ab.

Anlassen: bei steirischem und englischem Stahl blau, bei anderem Stahl violett.

Die in den Handel gebrachten Spezialstähle für Handmeißel leisten bei weißwarmer Schmiedung und geringem oder gar keinem Anlassen, trotz hohen Einkaufpreises, sehr gute Arbeit, sind also bei längerem starken Gebrauch billiger als andere Stahlqualitäten.

Schrotmeißel und Nietquetscher.

Stahlsorte: wie Handmeißel.

Feuerbehandlung: wie beim Handmeißel.

Die Wandung am Stielloch soll kräftig sein, weil gerade hier bei den starken Schlägen leicht Bruchgefahr eintritt. Nach dem Schmieden sind die Köpfe gut zu glühen, damit beim späteren Gebrauch keine Teile abspringen.

Abschrecken: im kalten Wasser.

Anlassen: wie beim Handmeißel, ev. wird zweimal angelassen.

Auch für Schrotmeißel verwendet man Spezialstähle für weißwarme Schmiedung, da diese Stahlsorten wegen großer Haltbarkeit am billigsten sind.

Döpper und Kreiskörner.

Stahlsorte: weich, zäh oder billiger, zäher Gußstahl.

Die Herstellung der Form erfolgt auf der Drehbank, Schmieden ist gänzlich zu vermeiden, weil durch zu vieles Erwärmen der Kohlenstoff entzogen wird. Je nach der Größe der zu bildenden Nietköpfe ist Stahl von entsprechendem Durchmesser warm abzuhauen, danach das einzelne Stück gut auszuglühen.

Digitized by Google

Feuerbehandlung: Man erwärmt auf dunkelrot Glut in gut durchgebranntem Kohlen- oder Holzkohlenfeuer. Der Gebläsewind soll das Werkstück nicht treffen.

Abschrecken: Man faßt den Döpper mit der Zange, Höhlung mit dem Nietkopf nach oben, und härtet im fallenden Wasserstrahl. Fig. 148.

Anlassen: Aus eigener innerer Wärme. Anlaßfarbe violett bis blau. Danach in Öl abschrecken und in Wasser auskühlen lassen.

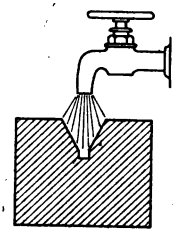


Fig. 148. Härten im fallenden Wasserstrahl.

Ziehdorne.

Stahlsorte: zäh oder mittelhart.

Feuerbehandlung: Vorsichtiges Anwärmen ist unbedingt erforderlich. Zum Schmieden dunkelrot erhitzen, zum Härten Erwärmung wie bei Reibahlen, Fräsern od. dgl. Sehr zweckmäßig ist es, das Werkstück auch hier in ein Rohr mit Holzkohle einzupacken oder in der Muffel zu erwärmen, wie vorstehend verschiedentlich angeführt. Steht ein Salzbaldhärteofen zur Verfügung, so erhitzt man im Salzbade.

Abschrecken: Man kühlt in Wasser von 18° bis 20° C oder in Salzwasser ab, wobei das Werkstück genau senkrecht in die Härteflüssigkeit einzuführen ist.

Anlassen: Es geschieht im Sandbade oder im Blaubrenner (Gasflamme); Anlaßfarbe strohgelb.

Werkzeuge für Bergwerksbetriebe und Steinbrüche.

Stahlsorte: Zu Grubenbohrern für Erze, Eisensteine u. ä. nimmt man Bohrstahl zähhart; im allgemeinen richtet man sich nach der Art des Steines bzw. Erzes. So genügt bei weichem Gestein oder Erz eine billige Sorte, bei härterem nehme man stets beste Stahlqualität.

Feuerbehandlung: Man erhitzt beim Schmieden dunkelrotwarm. Obgleich der meiste Spezialbohrstahl mehr Wärme vertragen kann als Werkzeugstahl, ist ein Überhitzen unter allen Umständen zu vermeiden.

Abschrecken: Man schreckt am besten in Salzwasser ab, wobei darauf zu achten ist, daß dies nicht auf eine zu große

Digitized by Google

Länge erfolgt, weil sonst beim Bohren die Bohrer in den Bohrlöchern leicht abbrechen, stecken bleiben und nur mit Mühe zu entfernen sind.

Anlassen: Je nach der zu bohrenden Gesteins- oder Erzart läßt man verschieden an, meist violett.

Grubenhacken, Kreuzhacken u. dgl. m.

Stahlsorte: Diese Werkzeuge fertigt man aus gutem Schweißeisen und verstählt sie lang mit gutem Schweißstahl. Als Flußmittel zum Schweißen nimmt man geschmolzenen, pulverisierten Borax mit Eisenfeilspänen gemischt.

Feuerbehandlung: Beim Härten wird das angeschweißte Stahlende kurz rotwarm gemacht, danach in kaltem Wasser abgekühlt.

Anlassen: Je nach Härte des zu bearbeitenden Bodens hellgelb bis violett.

Steinhauerwerkzeuge.

Stahlsorte: wie bei Gesteinsbohrern, sie richtet sich im allgemeinen nach der Gesteinsart. Für bessere Werkzeuge nimmt man zähharten Stahl.

Die Steinhauer haben hinsichtlich Form der Werkzeuge besondere Ansichten; es ist daher zweckmäßig, sich den jeweiligen Einzelwünschen anzupassen.

Zu Graviermeißeln an Marmorarbeiten nimmt man Wolframstahl, für Arbeiten an Basalt mittelharten Stahl, für Sandsteinarbeiten u. ä. zähhart oder gute Bohrstahlqualität.

Für Fäustel, Bossierhämmer, Kipphämmer nimmt man Hammerstahl.

Feuerbehandlung: Man macht vorsichtig rotwarm und kühlt in kaltem Wasser oder Salzwasser ab.

Anlassen: Je nach Art und Stärke des Gesteins gelb bis violett.

Werkzeuge aus Schweißstahl, Raffinierstahl (wie Äxte, Beile, Messer, Holzhauerwerkzeuge, Tischlerwerkzeuge).

Um aus diesen Stahlsorten gute Werkzeuge herzustellen, kann man so recht eigentlich die Fertigkeit des Werkzeug-

Digitized by Google

machers hiernach beurteilen. Aus Raffinierstahl macht man: Scherenmesser für Warmscheren, Unterteile für Schnitte, Schnitte und Stempel für weiches Metall, Drückwerkzeuge, größere Preß- und Ziehringe, Stanzwerkzeuge für Leder, Gummi, Pappe usw., Werkzeuge zur Steinbearbeitung, als: Steinbohrer, Steinmeißel, Spitzeisen, Steingeschirr, Werkzeuge zur Holzbearbeitung, Bohrer, Fräsmesser für Goldleisten, Fußsockel, Hobelmesser, Stemmeisen, Beile für Holz, Werkzeuge für Metzger.

XV. Das Schweißen des Stahles.

Schweißbarkeit ist die Eigenschaft der Stähle, sich im hocherhitzten plastischen Zustande so miteinander zu verbinden, daß vollkommene Adhäsion zwischen den Kristallen der zusammengeschweißten Teile eintritt. Unter Schweißen versteht man also die Vereinigung getrennter Teile des Stahles zu einem einzigen homogenen Stück. Die Temperatur der zu schweißenden Teile liegt sehr hoch, aber noch unterhalb des Schmelzpunktes. Die Kraft, die das Schweißen bewirkt, ist die durch die Schweißhitze gesteigerte Adhäsion der beiden Stahlteile ohne Zuhilfenahme eines Klebmittels oder Lotes. Bedingung für das Schweißen ist demnach: hohe Temperatur, metallisch reine Oberflächen an der Schweißstelle und entsprechend starker äußerer mechanischer Druck.

Bei vollkommen idealem Schweißen dürfte an der Schweißstelle keinerlei Schweißnaht erkennbar sein. In Wirklichkeit ist die Schweißnaht stets zu erkennen, auch beim Zusammenschweißen gleichgearteter und gleichzusammengesetzter Stahlstücke. Der Grund hierfür ist folgender: Während des Erhitzens der zu verbindenden Stahlstücke verbrennt ein Teil der obersten Eisenschicht, und zwar nicht nur das Eisen selbst, sondern auch die mit ihm legierten Stoffe, letztere wegen ihrer größeren chemischen Verwandtschaft zum Sauerstoff in höherem Maße. Die entstandenen Oxyde und Schlacken werden zum Teil an der Schweißstelle beim Schweißen eingeschlossen, bilden also ein sicheres Kennzeichen für den Verlauf der Schweißnaht.

Das Gelingen einer Schweißung hängt ganz allgemein von zwei Umständen ab:

Digitized by Google

1. von der Reinheit des Materials an leicht oxydierbaren Bestandteilen,
2. von dem möglichst guten Luftabschluß der zu verschweißenden Teile während des Schweißens.

Die erste Forderung dürfte selten, die zweite bei einigermaßen sorgfältiger Ausführung wohl erreichbar sein.

Beim An- oder Aufschweißen von hochwertigem, also auch teurem Werkzeug- oder Schnellstahl an geringwertige Stähle oder Eisen will man ersteren nur dort anbringen, wo er infolge seiner wertvollen Eigenschaften für die Metallbearbeitung auch tatsächlich in vollem Umfange ausgenutzt werden kann, und das ist i. d. R. an der schneidenden Kante. Es genügt also, ein verhältnismäßig schwaches hochwertiges Stahlstück, welches die spanabhebenden Funktionen ausführt, an eine kräftige Unterlage aus Eisen oder gewöhnlichem Stahl, die den entsprechenden Widerstand zu leisten vermag, anzuschweißen. Wir erreichen damit einmal eine wesentliche Materialersparnis, die bei dem Mangel an einer Reihe von Rohstoffen von größter Bedeutung ist, dann wird das Unkostenkonto für Werkzeuge eine geringere Belastung aufweisen, zum Vorteil des Verbrauchers. Denn bei sachgemäßer Ausführung des An- bzw. Aufschweißens erhält man ebenso gute und brauchbare Werkzeuge.

Wie schon angedeutet, wird Stahl auf Stahl, Werkzeuggußstahl an Eisen, sowie Schnellstahl an Werkzeugstahl oder Eisen an- bzw. aufgeschweißt. Es muß nun beim Schweißen das Material so stark erhitzt werden, daß es vom festen in einen mehr oder weniger teigförmigen Zustand übergeht, weil nur dann durch einen auszuübenden Druck oder durch Hammerschläge eine innige Vereinigung an der Berührungsstelle der beiden Metallstücke möglich ist, die alle Unebenheiten der berührenden Flächen ausgleicht. Ein starker Druck ist überdies notwendig, um zwischen den Berührungsflächen vorhandene, fremde Körper auszupressen. Dies kann aber nur geschehen, wenn diese sich in dünnflüssigem Zustande befinden. Zu diesen letzteren gehört der schwer schmelzbare Glühspan, dessen Bildung in hoher Temperatur nicht zu vermeiden ist. Es sind also beim Schweißen solche Mittel anzuwenden, die den Glühspan oder Zunder in eine flüssige Verbindung überführen. Hierzu genügt Schweißsand (Kieselsäure = SiO_2) oder ein quarzhaltiger Ton,

Digitized by Google

mit dem man das erhitzte Eisen bestreut, wobei die Kieselsäure einen Teil des oxydierten Eisens als Oxydul aufnimmt.

Die Schweißhitze des Stahles liegt nun niedriger als jene des Eisens. Beim Schweißen des Gußstahles findet stets eine Überhitzung statt, so daß bei Außerachtlassen der nötigen Vorsicht der Stahl leicht verbrennen kann. Bei hartem Stahle liegt der Schmelzpunkt tiefer als bei weichem, auch ist bei ersterem die Temperatur, bei der er den zum Schweißen erforderlichen plastischen Zustand besitzt, sehr nahe beim Schmelzpunkt, daher auch hier die Schwierigkeiten beim Schweißen.

Zum raschen Auflösen des sich bei der verhältnismäßig niedrigen Schweißhitze des Stahles bildenden Glühspanes verwendet man sogenannte Schweißpulver, die teils einige Säuren, teils verschiedene besonders alkalische Verbindungen enthalten und eine möglichst leichtflüssige Schlacke bilden. Je größer die Zahl der in der Schlacke nebeneinander enthaltenen verschiedenen Basen ist, um so leichter schmelzbar ist sie. Aus diesem Grunde enthalten die Schweißpulver in der Regel mehrere Bestandteile, wie: Borax, Pottasche, Soda, Kochsalz, Salmiak, Flußspat, Braunstein, Glas. Dann werden auch, um der beim Schweißen unvermeidlichen Oxydation entgegenzuwirken, dem Schweißpulver häufig Kohlenstoff abgebende Stoffe beigemengt, insbesondere Blutlaugensalz.

Ausführung des Schweißens. (Fig. 149 u. 150.)

Vorrichten des Stahles bzw. Eisens: Die zusammenzuschweißenden Stücke sind keilförmig an-, ineinander oder auch stumpf gegeneinander zu passen. Besser ist es, das eine Ende zu gabeln,

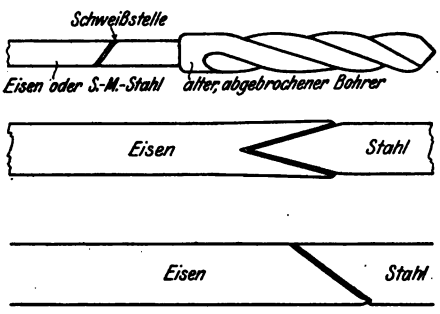


Fig. 149. Anschweißen von Werkzeugen.

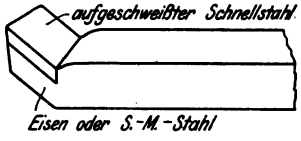


Fig. 150. Aufschweißen von Schnellstahl auf Eisen oder S.-M.-Stahl.

Digitized by Google

das andere keilförmig zuzurichten, so daß beide Enden ineinander gesteckt werden können. Die Abmessungen müssen aber so groß gelassen werden, daß die Schweißstelle beim Hämmern und Austreiben nicht zu klein ausfällt. Der bei der Zurichtung der zu schweißenden Stahlflächen auf diesen sich bildende Zunder oder Glühspan ist mit der Hammerfinne oder mit einer Vorfeile zu entfernen, weil Hauptbedingung für das Gelingen des Schweißens ist, daß sich nur metallisch reine Flächen berühren sollen.

Die Firma Gustav Wagner in Reutlingen, Württemberg, ersetzt die Schmiedearbeit beim Vorrichten der Stähle durch mechanische Bearbeitung auf kaltem Wege mittels Maschinen. Der damit verbundene große Vorteil besteht darin, daß man sich von dem Schmied unabhängig macht und an Brennstoff spart.

Zum rechtwinkligen und schrägen Abschneiden der »Stahlhalter« dient eine einfache Kreissäge, zum Anfräsen der Form und der Ansätze für das Schnellstahlplättchen eine einfache Fräsmaschine mit zylindrischem Stirnfräser. Fig. 151.

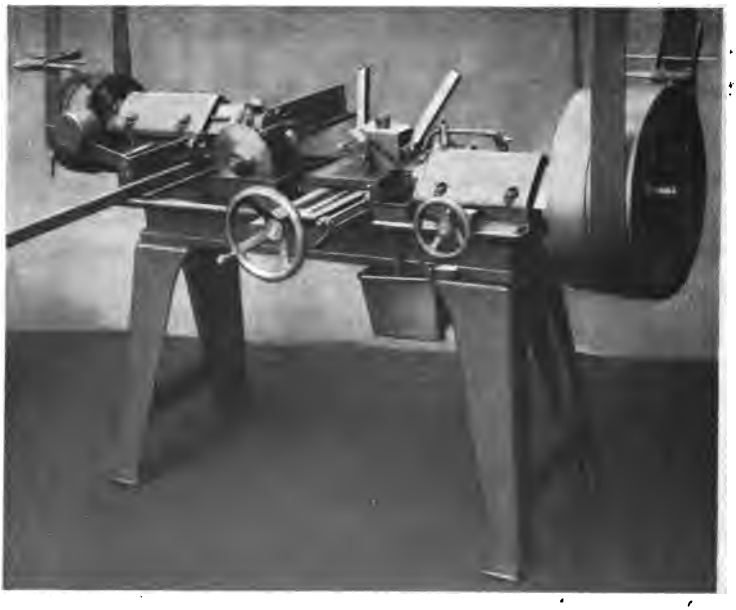


Fig. 151. Kreissäge mit Fräsmaschine.

Digitized by Google

Die Einspannvorrichtung für die Stähle ist so eingerichtet, daß sie sowohl für links- wie für rechtsseitige Stähle benutzt werden kann. Sie besteht aus einem langen, kräftigen Gußkörper, in den die Aufspannuten für die Stahlhalter so eingefräst sind, daß

1. die richtige Schnittform stets gewährleistet ist, und
2. das Einstellen auf die richtige Schnittiefe durch Anschläge erfolgt, eine Höhenstellung des Fräsers also vermieden wird. Fig. 152 und 153 und 154.

Das Anfräsen der Stahlhalter geschieht meist in zwei Operationen; Zeitdauer für einen Stahl von 30 × 20 mm einschließ-

Fig. 152. Einspannvorrichtung.

Fig. 153. Einspannvorrichtung.

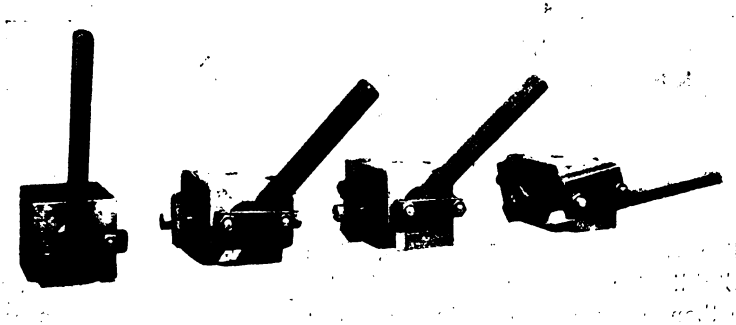


Fig. 154. Einspannvorrichtung zur Bearbeitung der Stahlhalter.

Digitized by Google

Fig. 155. Zusammenstellung der Apparate und Maschinen.

lich Einspannen fünf Minuten. Das Ab- und Zuschneiden der Stahlhalter von der Stange erfolgt in derselben Zeit von demselben Manne durch eine mit der Fräsmaschine verbundene Kaltkreissäge.

Digitized by Google

Fig. 156. Zusammenstellung der Maschinen und Apparate.

Mittels einer Bandsäge oder Bogensäge unter Benutzung einer entsprechenden Spannvorrichtung geschieht das Zuschneiden der Schnellstahlplättchen. Für jede Stahlform ist eine solche

Digitized by Google

Einspannvorrichtung vorgesehen, welche die richtige Stahlform und Stahlgröße gewährleistet. Fig. 155.

Zum Erhitzen der Stahlplättchen und Stahlhalter dient ein Gasofen mit Druckluftgebläse, so daß gleichzeitig drei Stahlhalter und Stahlplättchen erwärmt werden können. Unter Beihilfe eines zweiten Mannes wird das erhitzte Stahlplättchen von Hand festgepreßt, mit dem Stahlhalter zusammen auf 1100° bis 1200° C erwärmt, unter einer durch Fußtritt betätigten Kniehebelpresse, die beide Hände zum Einfahren unter die Preßwerkzeuge freiläßt, endgültig aufgeschweißt. Fig. 156.

Die zum Aufpressen verwendeten Werkzeuge sind der jeweiligen Schnittform angepaßt; der Stahlhalter behält beim Pressen seine Form bei, sowie das Plättchen an die richtige Stelle kommt. Es ist also keine Nacharbeit erforderlich wie beim Pressen ohne Vorfräsen. Das Härten geschieht dann durch den Luftstrom des Druckluftgebläses.

Durch dieses Bearbeitungsverfahren erhalten die Stähle nahezu die richtige Form, so daß das Fertigschleifen einfach und rasch erfolgen kann.

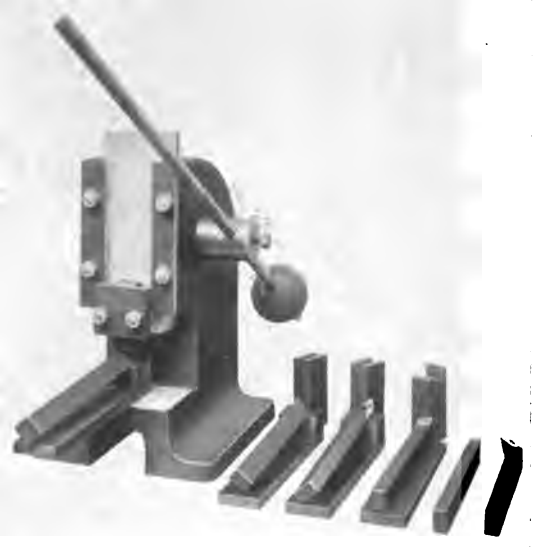


Fig. 157. Handpresse für Seitenstähle.

Digitized by Google

Die Anfertigung von Seitenstählen geschieht in einer mit entsprechenden Gesenken ausgerüsteten Handpresse in warmem Zustande. Fig. 157.

Richtige Zusammenstellung und Handhabung der Maschinen, Apparate und Werkzeuge vorausgesetzt, wie sie Fig. 152 zeigt, können durch drei Personen in zehn Stunden 120 bis 150 Stähle fix und fertig hergestellt werden. Fig. 158a und 158b.

Fig. 158a. Fertige Stähle.

Fig. 158b. Seitenstähle vorbereitet und fertiggestellt.

Anwärmvorrichtung: Das zum Erhitzen der Schweißstücke benutzte Feuer muß unbedingt rein sein; gut durchgebranntes helles Schmiedekohlenfeuer oder helles Holzkohlenfeuer können angewendet werden. Mit bestem Erfolge haben sich die in neuerer Zeit in den Härtereien mehr und mehr in Aufnahme gekommenen Schweißöfen mit Gasfeuerung bewährt.

Erhitzen der Schweißstücke: Die zusammenzuschweißenden Enden der Stücke werden nun soweit erhitzt, als der jeweils zur Verwendung kommende Stahl dies erlaubt, ohne daß er dabei verbrannt wird. Der nach dem Erwärmen bei Hellrotglut auftretende Glühspan wird mit einer Feile, Draht-

Digitized by Google

bürste oder durch Kratzen mit einem rauhen Gegenstande entfernt. Während dieses Erhitzens gibt man mittels eines langgestielten Löffels nach dem Entfernen des Glühspanes soviel Schweißpulver auf die Schweißstellen, daß diese gut damit bedeckt sind, ohne aber dabei die erhitzten Stücke durch Herausheben aus dem Feuer dem Einflusse der Luft ganz auszusetzen.

Fig. 159. Spindelpresse zum Aufschweißen von Schnellstahl.

Danach werden die Schweißstellen aufeinandergelegt und leicht ohne Schlag aufeinander gedrückt. Nunmehr bringt man die aufeinander gedrückten Teile wiederum ins Feuer, erhitzt auf Schweißhitze und schweißt durch Schlag mit Setz- und Vorschlaghammer oder durch ständigen Druck mittels einer kleinen kräftigen Presse zusammen. Die in der Lehrwerkstätte der Kurse in Cöln verwendete Spindelpresse von L. Schuler, Göppingen in Württemberg (Fig. 159) hat mit bestem Erfolge Anwendung gefunden.

Die richtige Schweißtemperatur liegt:

für harten Stahl bei beginnender Gelbglut;

für mittelharten und weichen Stahl bei Gelbglut bis matter Weißglut;

für Schnellstahl bei Weißglut;

Schnellstahlersatz, das sind Stähle, die an Stelle des hohen Wolframgehaltes einen Zusatz von Molybdän erhalten, dürfen beim endgültigen Schweißen nur auf etwa hellgelb, also 900° C, erhitzt werden.

Digitized by Google

Sprüht der Stahl beim Herausnehmen aus dem Feuer Funken, so ist er bereits verbrannt.

Eine an der Außenseite der Schweißstelle etwa stattgefundene Entkohlung des Stahles kann nach beendetem Ausschmieden durch Bestreuen der dunkelrot gewordenen Schweißstelle mit einer gleichmäßig dünnen Schicht eines Härtepulvers wieder ausgeglichen werden.

Nach dem Schweißen muß man das Werkstück langsam abkühlen lassen, um das Entstehen von Härterissen zu verhindern; für das nachfolgende Härten ist von neuem anzuwärmen.

Schweißen von Stahl auf Eisen: Im ersten Teile dieses Lehrganges wurde ausgeführt, daß mit sinkendem Kohlenstoffgehalte die Temperatur, bei der das Eisen vom festen in den flüssigen Zustand übergeht, steigt. Da nun Stahl einen wesentlich höheren Kohlenstoffgehalt als Eisen besitzt, wird die Schweißtemperatur niedriger sein als bei Eisen. Dies ist beim Schweißen von Stahl auf Eisen zu beachten; man muß also den Stahl später ins Feuer bringen als das Eisen. Auch benutzt man wohl zwei verschiedene Feuer für beide, und zwar erhitzt man den Stahl in einem Holzkohlenfeuer, das Eisen in einem Koksfeuer, das ja auch eine stärkere Hitze als Holzkohlenfeuer entwickelt. Doch beachte man, daß das Koksfeuer gut durchgebrannt sein muß.

Schweißpulver: Die meisten Schweißpulver enthalten Borax, und zwar aus dem schon früher angegebenen Grunde, der schon bei Hellrotglut schmilzt, und fast alle Metalloxyde aufzulösen vermag.

Da sich aber der Borax beim Erhitzen stark aufbläht, wobei das Kristallwasser verdampft und leicht Lücken auf den zu schweißenden Stellen läßt, so ist es ratsam, ihn vorher in einem Gefäße zu schmelzen, dann abkühlen zu lassen, wobei er zu einer glasartigen amorphen Masse erstarrt, die man pulverisiert.

Nachstehend angegebene Schweißpulver haben sich nicht nur seit Jahren in der Praxis bewährt, sondern finden auch durchweg in der Lehrhärterei mit bestem Erfolge beim Schweißen von Stahl an Stahl, Schnellstahl an Stahl oder Eisen u. ä. m. Anwendung:

Digitized by Google

a) 5 Teile pulverisierter Borax
2 Teile rostfreie Eisenfeilspäne
oder b) 3 Teile pulverisierter Borax
2 Teile Braunstein
1 Teil pulverisiertes Glas
2 Teile rostfreie Eisenfeilspäne.

Die verwendeten sehr weichen Eisenfeilspäne sollen von Schmiedeisen herrühren, man vermeide solche von Gußeisen oder Stahl.

Die Anwendung von sehr weichen Schmiedeisenfeilspänen im Schweißpulver gibt diesem dem Wesen nach eine gewisse Ähnlichkeit mit dem Hart-Löten. Bekanntlich versteht man ja hierunter die Verbindung zweier gleich- oder verschiedenartiger Metallstücke unter Benutzung eines metallischen Bindemittels, das Lot genannt, welches in heißflüssigem Zustande in die Trennungsfuge beider Stücke fließt, dort erstarrt und infolge seines Anhaftevermögens an beiden Teilen diese zusammenhält. Wegen ihrer Feinheit nehmen nun die Eisenfeilspäne rasch die nötige Schweißtemperatur an, erleichtern also die Verbindung der zu schweißenden Stahlstücke wesentlich.

Die Möglichkeit, wertvolle Teile Edelstahl an geringwertigen Stahl oder Eisen an- oder aufzuschweißen, hängt, wie vorher erwähnt, von der Reinheit an leicht oxydierbaren Bestandteilen ab. Es soll deshalb die Schweißfähigkeit einzelner Stahlsorten hier angefügt werden.

Manganstahl: Infolge der großen chemischen Verwandtschaft des Mangans zum Sauerstoff sind Manganstähle schwer schweißbar.

Chromstahl: Die Schweißbarkeit der Chromstähle ist sehr gering.

Wolframstahl: Die Schweißbarkeit der Wolframstähle ist nicht groß. Wendet man ein Schweißpulver, bestehend aus Eisenfeilspänen und Borax, an, so gelingt auch die Verbindung ziemlich hochprozentiger Wolframstähle.

Vanadinstahl: Die Schweißbarkeit leidet infolge der hohen chemischen Verwandtschaft des Vanadins zum Sauerstoff.

Aluminiumstahl: Die Schweißbarkeit aluminiumhaltiger Stähle ist sehr gering.

Digitized by Google

Nickelstahl: Die Schweißbarkeit der Nickelstähle ist ungefähr die gleiche wie die der reinen Kohlenstoffstähle.

Schnellstahl: Infolge der leichten Vereinigung mit Sauerstoff sind die Schnellstähle sehr schlecht schweißbar.

XVI. Das Löten des Stahles.

Das Löten ähnelt dem Schweißen mittels Schweißpulver. Das Lot übernimmt hierbei die Rolle eines Klebstoffes. Es wird dort angewendet, wo die Adhäsion der zu verbindenden Metallteile zueinander keine große ist, also bei harten Stählen, die keine große Hitze erfahren dürfen.

Wie wir schon beim »Schweißen« erwähnt, ist die Anwendung des Schnellstahles wegen seines hohen Preises i. d. R. auf die schneidende Kante beschränkt. Die Art der Verbindung zwischen Schneide und Schaft soll nicht nur hinreichende Steifigkeit, sondern auch gute Wärmeleitfähigkeit gewährleisten, damit die Reibungswärme der Schneide schnell zum Schaft abfließen kann.

Nach einem neueren Lötverfahren[1]) wird ein Kupferstreifen zusammen mit einem reduzierenden, bei hohen Temperaturen verdampfenden Stoff zwischen die miteinander zu verbindenden Flächen gebracht und dann das Ganze in einem Muffelofen auf 1200° C erhitzt. Die beigegebene Verbindung verdampft, das Kupfer schmilzt und bewirkt in vollständig reduzierender Atmosphäre eine so gründliche Verschmelzung beider Stahlsorten, daß meist keine Kupferschicht mehr zwischen beiden Stählen nachgewiesen werden kann.

XVII. Das Richten beim Härten verzogener Werkzeuge.

Jeder Härter weiß, daß der Stahl beim Härten eine Formänderung erleidet, die sich meist in dem recht unangenehmen Verziehen der Werkstücke kennzeichnet. So werden z. B. längere Gewindebohrer kürzer, Besteckstangen werden etwas krumm, Ziehringe werden in der Bohrung enger, bei vielen anderen

[1]) Stahl u. Eisen 1908, Seite 1427.

Digitized by Google

Werkzeugen, wie lange Papierschneid- und Holzbearbeitungsmesser, muß dieses Verziehen nach dem Härten durch Geraderichten beseitigt werden.

Die Ursachen des Verwerfens oder Verziehens der Werkzeuge beim Härten können auf einen Mangel an Gleichmäßigkeit des Gefüges oder auf die Art des Erhitzens bzw. Abkühlens zurückgeführt werden.

Je nach der Gestalt des gehärteten Körpers kann diese Formänderung mit einer Verringerung oder Vergrößerung der Körperoberfläche verbunden sein. Werkzeuge, deren Länge ein Vielfaches ihrer Dicke beträgt, verkürzen sich und werden dicker, solche, die ungefähr gleiche Ausdehnung nach allen Richtungen besitzen, werden an Oberfläche zunehmen. Jedoch sind alle diese Formänderungen bei großen Stahlmassen klein, weil das Härten nur wenig tief eindringt, bei kleinen Stahlmassen groß, weil das Härten bis ins Innere des Stückes durchgreift. Wesentlich dabei ist das Vorhandensein von Ecken und Kanten bei den zu härtenden Gegenständen. So erfährt z. B. unter sonst gleichen Härtebedingungen der Würfel eine erheblich größere Oberflächenausdehnung als eine Kugel, denn diese behält stets ihre Kugelform, während ersterer die in Fig. 154 skizzierte Gestalt annimmt.

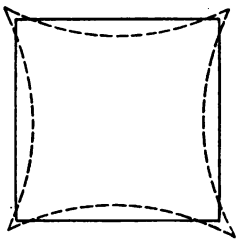


Fig. 160.

Der Einfluß der Zusammensetzung der Stähle auf das Maß des Verziehens beim Härten läßt sich in der Regel aussprechen: Ein Stahl erleidet beim Härten eine um so beträchtlichere Formänderung, je größer der Unterschied zwischen der Härte im normalen, langsam abgekühlten Zustande — Naturhärte — und der Härtungshärte ist.

Den praktischen Betrieb interessiert diese Frage in der Stellung: Welcher Stahl erleidet das geringste Maß von Formveränderung beim Härten, welcher verzieht sich beim Härten am wenigsten. Werkzeuge, die sich beim Härten nicht verziehen dürfen, werden zweckmäßigerweise aus sehr harten, am besten selbsthärtenden Chrom-Wolframstählen gefertigt und diese bei einem höchstzulässigen Härtegrad bearbeitet, bevor man sie, falls notwendig, nachhärtet.

Digitized by Google

In den meisten Fällen sind Werkzeuge aus Tiegelgußstahl hergestellt, wobei die Stahlstange vom Stahlwerk ihre Form — je nach Bedarf , , oder eine ähnliche — unter dem Hammer durch Ausschmieden auf das gewünschte Maß erhalten hat. Nach dem Schmieden glühen alle besseren Werke den Stahl in großen Glühkästen, die die Stangen in ihrer ganzen Länge aufnehmen können, zur Beseitigung der durch die vorangegangene Behandlung entstandenen Spannungen, sorgfältig aus. Der gewissenhafte Werkzeugmacher läßt sich aber daran nicht genügen, er glüht das von der Stange abgehauene, abgesägte, abgedrehte usw. Stück nochmals sorgfältig unter Luftabschluß aus. Lange Gewindebohrer, Spiralbohrer, Reibahlen u. dgl. soll man nach dem Abdrehen des ersten Spanes im Kasten in Holzkohle ausglühen, um irgendwelche Spannungen durch die weitere Bearbeitung zu entfernen. Werden auf diese Weise behandelte Werkzeuge beim nachfolgenden Härten vorsichtig erwärmt und abgekühlt, so werden sie sich kaum verziehen. Bei aufmerksamer Behandlung des Stahles und Werkstückes darf der Werkzeugmacher überhaupt nicht in die Lage kommen, richten zu müssen. Kleine Ungenauigkeiten werden bei dem heutigen Stande der Schleiftechnik durch Schleifen ausgeglichen; bei fast allen zu schleifenden Werkzeugen gibt man von vornherein einige Zehntel Millimeter zu, um kleine Krümmungen auszuschleifen.

Richten größerer Papiermesser oder Scherenmesser: Nach dem Anlassen werden die Messer mit der Hammerfinne, die möglichst schlank und je nach der Krümmung des zu bearbeitenden Teiles abgerundet sein muß, durch kräftige Schläge auf die hohle Seite bearbeitet. Durch das Hämmern werden die zu sehr verdichteten Stellen so weit gestreckt, bis das Werkstück seine richtige Lage wieder angenommen hat. Die Hammerschläge müssen genau in die Richtung der Krümmung fallen, nicht etwa schräg zu dieser; die Krümmung der Hammerbahn hat sich ihrer Länge nach dicht an die Oberfläche anzulegen.

Das Schlagen darf nur bis etwa 1 cm vom Rande entfernt erfolgen; das Messer muß im Anlaßofen, hochkant gestellt, auf $\sim$ 300° C, der blauen Anlaßfarbe entsprechend, vorgewärmt sein.

Ist eine autogene Schweißanlage vorhanden, so kann man unter Verwendung eines Schweißbrenners wie folgt verfahren:

Digitized by Google

Das Messer wird, konvexe Seite nach oben, auf eine Platte gelegt und mit der Stichflamme vorsichtig an verschiedenen Stellen erwärmt (Fig. 161). Ist das Messer stark verzogen, so wird die

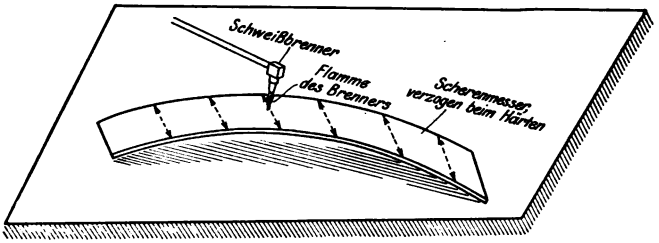


Fig. 161. Richten eines Scherenmessers mittels Schweißbrenners.

konvexe Seite durch feuchte Lappen leicht abgekühlt, es streckt sich dann sehr rasch.

Richten von Spiralbohrern: Bei Spiralbohrern wird ein Verziehen verhindert, indem man sich der in Fig. 116 dargestellten Einrichtung bedient. Sie besteht aus einem schräg im Härtebottich angebrachten Rost *a*, auf welchen die erhitzten Bohrer gelegt und mittels einer Holzplatte *b* schnell hin und her gerollt werden.

Richten von Reibahlen: Gut handwarm anwärmen; dann wird die Reibahle zwischen zwei mit Kupfer oder Messingblech ausgeschlagene Harthölzer gebracht, unter einer Spindelpresse oder zwischen den Backen eines Schraubstockes vorsichtig gedrückt und so lange unter Druck gelassen, bis das Werkzeug erkaltet ist.

XVIII. Regenerieren, d. h. Verbessern des im Feuer verdorbenen Stahles.

Werkzeugstahl, der von vornherein stark überhitzt oder verglüht wurde, soll für die Weiterverarbeitung zu Werkzeugen überhaupt ausscheiden, denn die Werkzeuge werden spröde und reißen oder nehmen keine Härte an, so daß die beträchtlichen Herstellungskosten zwecklos aufgewendet sein würden. Man merkt vorgenannte Fehler meist zu spät, und zwar sind sie

Digitized by Google

dann am verdorbenen fertigen Werkzeuge wahrnehmbar. Eine Regeneration, d. h. eine Verbesserung dieses Stahles, erübrigt sich dann.

Bei dem im Feuer verdorbenen Stahle kann im allgemeinen die Ursache eine vierfache sein:

a) Verbrannter Stahl. Bei Erwärmung des Stahles bis zu Temperaturen von 1200° C und höher verändert er sich unter Funkensprühen; es entsteht dadurch eine chemische Veränderung, hauptsächlich Entkohlung des Metalls durch Einwirkung der Luft oder der Flammengase bei hoher Temperatur, infolgedessen der Stahl im ungehärteten Zustande Kantenrisse zeigt, beim Schmieden in Stücken abbricht, zerfällt, und beim Härten reißt. Dieser Stahl kann nicht mehr regeneriert werden, er ist also völlig unbrauchbar.

Fig. 170 der Härteschlange und Fig. 162 und 163 Schliffbild zeigen verbrannten Stahl.

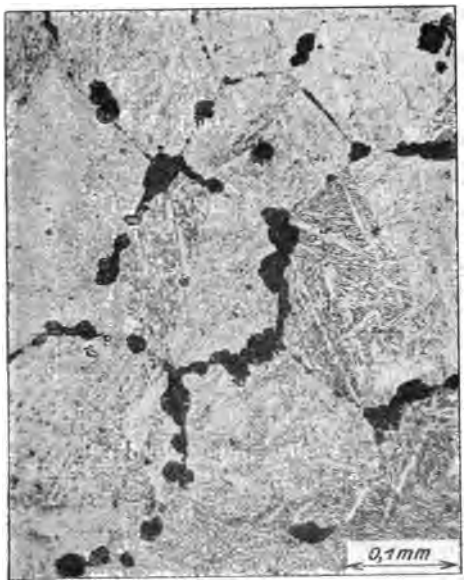


Fig. 162. Gefüge an Rand und Mitte des in Fig. 170 abgebildeten verbrannten Stückes der Härteschlange. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.) Vergrößerung = 150.

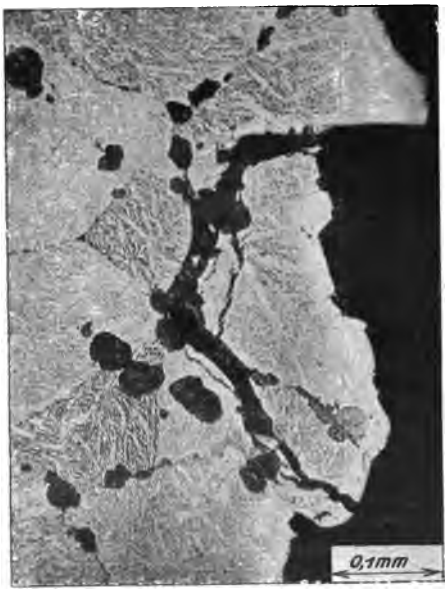


Fig. 163. Gefüge an Rand und Mitte des in Fig. 170 abgebildeten verbrannten Stückes der Härteschlange. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.) Vergrößerung = 150.

Digitized by Google

Fig. 165 166 167 168 169 170
Bruchflächen, erzeugt an einer Stahlstange, die am rechts gelegenen Ende (Fig. 164) weißwarm gemacht, abgekühlt und hierauf stückweise abgeschlagen wurde. Fig. 160 zeigt die richtige Härtetemperatur. Vergrößerung = 1/2. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.)

Fig. 164. Bruchfläche der Spitze eines überhitzten Drehmessers. Vergrößerung = 10. (Aus Bearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

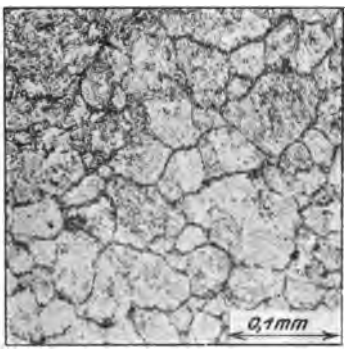
b) Überhitzter Stahl. Er hat durch Erwärmung über helle Rotglut und bei zu lang anhaltender Dauer derselben grobkristallinisches Gefüge erhalten und ist spröde geworden. Eine chemische Veränderung der Zusammensetzung ist nicht eingetreten. Je nach der Dauer erstreckt sich die Überhitzung entweder nur auf die Oberfläche — Ecken und Kanten — oder durch die ganze Masse des Stahles.

Erfolgte das Überhitzen des Werkstückes bereits beim Schmieden, wie es so häufig bei Schlagwerkzeugen, Hand- und Schrotmeißeln, schon bei der Neuanfertigung aus 40 ϕ oder 45 ϕ Stahl eintreten kann, und man will den überhitzten Teil nicht abhauen, so kühlt man bis Kirschrotglut ab und schmiedet

Digitized by Google

es sorgfältig und kräftig bis Dunkelrotglut nach. Das Überschmieden hat den besonderen Zweck, das grobkristallinische Gefüge, welches die Sprödigkeit herbeiführte, zu zerstören.

Fig. 167 der Härteschlange, Schliffbild Fig. 174 und 172 sowie Fig. 164 zeigen überhitzten Stahl in der Bruchfläche und



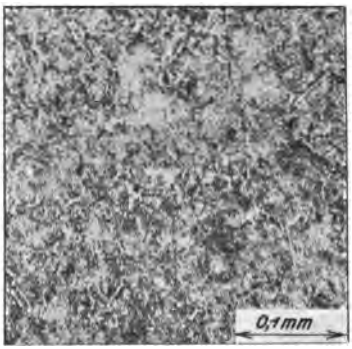


Fig. 171 u. 172. Gefüge in Mitte und Ecke des in Fig. 161 abgebildeten überhitzten Stückes. Vergrößerung = 150. (Aus Bach-Baumann, Gefügebilder.)

in metallographischer Aufnahme, letztere bei 150facher Vergrößerung.

Wurde das Werkzeug beim Härten überhitzt, so läßt man es langsam ganz erkalten und erwärmt dann von neuem vorsichtig bis zur niedrigsten Härtetemperatur, meist Dunkelrotglut, dann wird in Wasser abgekühlt. Man kann auch sogenannte Stahlverbesserungsmittel anwenden, die den Zweck verfolgen, dem Stahle den an der Oberfläche durch das Überhitzen ausgeschiedenen Kohlenstoff wieder zuzuführen.

Nachstehende Regenerierungs- oder Verbesserungsmittel sind praktisch ausprobiert und bewährt.

1 Teil Hufmehl
1 Teil Salz
1 Teil Schmierseife

oder 3 Teile Leinöl
1 Teil Schmierseife
2 Teile Harz

Digitized by Google

oder 2 Teile Rindstalg
5 Teile Harz
1 bis 2 Teile Tran
1 Teil blausaures Kali.

Die Mischungen sind gut durchzukneten.

Das zu verbessernde Werkzeug wird auf Dunkelrotglut erwärmt, in die Masse getaucht bzw. mit ihr bestrichen und im Feuer eingebrannt; das Verfahren wird zwei- bis dreimal wiederholt, dann das Werkstück in Wasser oder Öl abgekühlt.

Welche Art der Verbesserung zu wählen ist, hängt von den jeweiligen besonderen Umständen ab. Ein Werkstück, das schon seine besondere Form erhalten hat — fassoniert ist —, wird man nicht durch Überschmieden verbessern, andrerseits Stahl, der noch keine Formgebung erfahren hatte, nicht durch Härten verbessern, und zwar um so weniger, als die Gefahr der Rißbildung sehr zu beachten ist.

c) Durch besondere Umstände verdorbener Stahl: Hierunter ist ein Stahl zu verstehen, der beim Erhitzen im offenen Schmiedefeuer unter Benutzung frischer Schmiedekohlen durch den in diesen enthaltenen Schwefel verdorben wurde. Wie in einem früheren Abschnitte ausgeführt, entzieht Schwefel dem Stahl an den gegenseitigen Berührungsstellen den Kohlenstoff vollständig, der Stahl wurde fleckig — sogen. Weichflecke — und konnte an diesen Stellen nicht gehärtet werden. Um ihn wieder brauchbar zu machen, wird dieser Stahl an allen Stellen von Zunder u. dgl. m. befreit, mit einem Stück Schmirgelleinen blank gerieben, in einen Einsatz-Kasten sorgfältig mit Holz- oder Lederkohle eingepackt, der Kasten luftdicht verschmiert und im Glüh- oder Härteofen etwa 4 bis 5 Stunden — je nach Umfang des Stückes — geglüht. Die Temperatur sei etwa 750° C. Steht kein Härte- oder Einsatzofen zur Verfügung, so werden die blank abgeriebenen Teile in einer Muffel, Rohrstück oder zugedecktem ⌊⌋-Eisen, das mit Holzkohle gefüllt ist und auf dem offenen Feuer eingebaut wird, erhitzt und danach in Wasser von 18° C abgekühlt.

d) Verglühter Stahl: Hier wurde Werkzeugstahl längere Zeit bei Luftzutritt einer Temperatur ausgesetzt, die an sich nicht hoch genug war, um ihn zu überhitzen. Dabei ist ihm

Digitized by Google

der Kohlenstoff an der Oberfläche ganz oder teilweise entzogen worden, die hieraus hergestellten Werkzeuge werden beim nachfolgenden Härten nicht genügend hart oder bleiben weich.

Abgestandener Stahl: Er wurde beim Gebrauche wiederholt erhitzt und gehärtet, infolgedessen spröde, verliert hierdurch an Schneidkraft und reißt beim Härten leicht.

Das Verbessern erfolgt unter Anwendung von Härtepulver und besteht in einer Oberflächenzementation.

XIX. Einsatzhärten oder Zementieren.

Bei der Einsatzhärtung, auch wohl Oberflächenhärtung genannt, beabsichtigt man, die Oberfläche eines Werkstückes eines wenig Kohlenstoff enthaltenden, also weichen Eisens an bestimmten Stellen oder überall zu kohlen, ihr Kohlenstoff zuzuführen, so daß die Oberfläche beim Abschrecken glashart wird, das Innere, der Kern, zäh und biegsam bleibt. (Fig. 173 u. 174.)

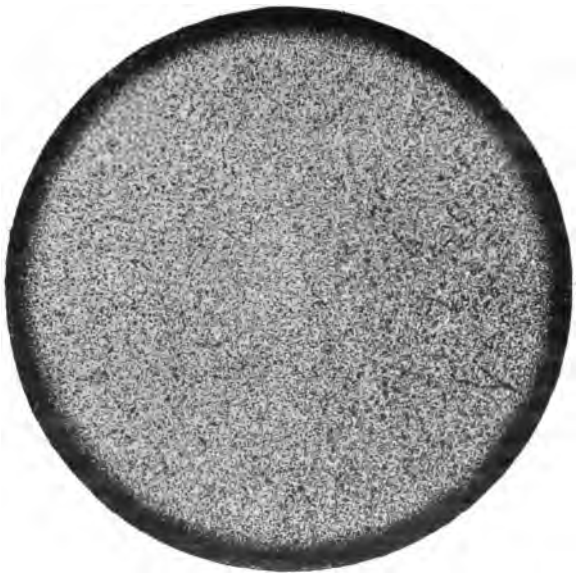


Fig. 173. Flußeisen mit 0,14 v. H. Kohlenstoff während 5 Stunden bei 900° C eingesetzt. Vergrößerung = 5. (Aus Bearley-Schäfer, Werkzeugstahl.)

Digitized by Google

Die ursprünglichste und älteste Form des Einsatzhärtens fand bei der Herstellung des Zementstahles Anwendung, den man wegen der eigentümlichen auf der Oberfläche auftretenden Blasen auch Blasenstahl nannte, und der heute das Ausgangsprodukt erstklassigen Tiegelstahles ist. Das Zementierverfahren bestand darin, Stäbe aus schwedischem Schmiedeisen lagenweise unter Vermeidung gegenseitiger Berührung in Holzkohle einzupacken und unter Luftabschluß längere Zeit, meist mehrere Wochen, je nach dem Grade der Kohlung, bei hoher Temperatur, 1000° C und mehr, zu glühen.

Fig. 174. Zementiertes Eisen mit Rand- und Kernzone. (Aus Preuß, Prüfung des Eisens.)

Jetzt wendet man die Oberflächenhärtung bei allen solchen Werkstücken an, die außen sehr hart sein sollen, welche indes ihrer Form nach, wegen ungleicher Dimensionen und großen Volumens, bedeutende Schwierigkeiten beim Härten bieten. Ein kohlenstoffreicher harter Stahl würde beim Härten leicht reißen; man verwendet deshalb hier einen weicheren, gibt ihm die erforderliche größere Härte durch Einsetzen und kann nun ohne besondere Schwierigkeiten härten. Nicht zu vergessen ist hierbei noch, daß bei der Herstellung von Maschinenteilen, selbst Werkzeugen, aus billigem, kohlenstoffarmem Stahl trotz der Mehrkosten des Einsetzens Ersparnisse möglich sind, die Fabrikation also billiger ist. Trotz der harten Oberfläche bietet der weiche Kern hinreichenden Schutz gegen Bruchgefahr bei solchen Teilen, die starken Stößen und Schlägen ausgesetzt sind.

Die Bearbeitung von Maschinenteilen aus kohlenstoffarmem weichen Stahl auf den Werkzeugmaschinen ist wesentlich billiger, erfolgt rascher und nutzt die Maschinen weniger rasch ab als es bei Verwendung teuren, oft sehr harten und schwierig zu bearbeitenden hochprozentigen Tiegelstahles der Fall ist.

Welches Material sich am besten für den jeweiligen Verwendungszweck und Einsatzhärtung eignet, hängt von der Be-

Digitized by Google

anspruchung des Maschinenteiles ab. Wird eine mittlere Festigkeit verlangt und sind sie geringen Stößen oder Schlägen ausgesetzt, so genügt durchweg ein weicher, zäher kohlenstoffarmer Stahl von höchstens 0,2 v. H. Kohlenstoffgehalt, der möglichst frei von schädlichen Verunreinigungen, Schwefel, Phosphor u. ä. sein muß. Stark beanspruchte Maschinenteile wie Zahnräder u. dgl. m., die Stößen und Schlägen oder Abnützung durch Reibung ausgesetzt sind, macht man aus Nickelchromstählen, also sog. legierten Stählen.

Bei fortlaufend großem Bedarf und Massenherstellung von Werkstücken gebrauche man die von den Stahlwerken in den Handel gebrachten Spezialeinsatzstahlsorten. Zur Herstellung von Werkzeugen, z. B. Fräsern, nimmt man kohlenstoffarmen Bessemerstahl, die man dann im Einsatz härtet.

Wichtig ist auch die Frage, was für Einsatzmittel zu verwenden sind, denn ihre richtige Zusammensetzung und Auswahl ist ebenso sehr Vertrauenssache wie die der Stahlsorten. Am besten stellt sich der Verbraucher sein Einsatzmaterial selbst her, wobei nachstehende Zusammenstellung einiger erprobter und bewährter Mittel gute Dienste leisten mögen[1]). Indes gibt es auch vertrauenswürdige Fabrikanten, die solche zu durchaus angemessenen Preisen auf den Markt bringen. Unter Voraussetzung von Friedenspreisen darf das Kilogramm Einsatzmittel nicht teurer als 0,50 M. zu stehen kommen.

Die technische Ausführung des Einsetzens oder Zementierens geschieht wie folgt.

Da das Einsetzen in Blech- oder gußeisernen Kästen geschieht, halte man die gangbarsten Größen stets bereit (Fig. 175). Es ist zu beachten, daß der einzusetzende Maschinenteil von den Seitenwandungen und dem Boden mindestens 20 bis 30 mm absteht. Der Boden des Kastens wird mit einer Aschenschicht von etwa 30 mm Höhe bedeckt, hierauf wird Einsatzpulver gestreut, der Gegenstand eingebettet und ringsum reichlich in Einsatzpulver eingepackt. Der übrige Teil des Kastens wird mit Asche gefüllt, darauf kommt eine Schicht, bestehend aus einem Brei aus in Wasser angerührtem Lehm vermengt mit Asche. In diese Lehmdecke drückt man nun den Deckel des

[1]) Siehe Seite 197 und 198.

Digitized by Google

Einsatzkastens und verschmiert die Ränder und Ecken des Deckels sorgfältig mit Lehm. Auf diese Weise erreicht man einen guten luftdichten Abschluß des Kasteninhaltes, die Haupt-

Fig. 175. Einsatzkästen.

sache für den Erfolg beim Einsetzen. Vorsichtshalber umwickelt man den Kasten noch kreuz und quer mit Bindedraht. Bohrt man in das eine Kopfende des Kastens ein Loch von

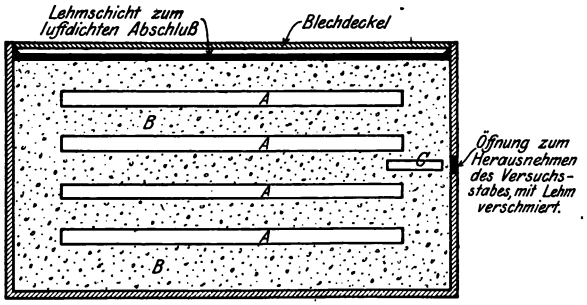


Fig. 176. Einpacken von Stäben im Einsatzkasten.

A = Werkzeug- oder Schnellstahl.
B = klein gestoßene Holzkohle mit feingesiebten Ascheresten vermengt.
C = Probier- oder Versuchsbolzen.

Digitized by Google

etwa 15 bis 20 mm Durchmesser, so kann ein an dieser Stelle eingesetzter Versuchsbolzen auch während der Feuerbehandlung aus dem Einsatze herausgenommen und abgekühlt werden, dessen Bruchfläche jederzeit Aufschluß über die Tiefe der harten Schicht gibt. Ist die Kohlung noch nicht tief genug eingedrungen, so bleibt der Einsatz entsprechende Zeit länger im Ofen (Fig. 176 und 177).

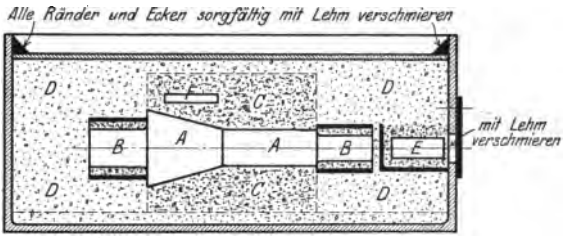


Fig. 177. Maschinenteil im Einsatzkasten.
A = zu härtende Teile.
B = Teile, die weich bleiben sollen.
C = klein gestoßene Holzkohle.
D = feingesiebte Asche.
E und F = Versuchsbolzen.

Außer diesem Probierbolzen bringt man in den Kasten zu dem eingesetzten Werkstück noch einen zweiten, blank gearbeiteten, von etwa 13 bis 16 mm Durchmesser, der später zusammen mit dem Einsatzstück abgekühlt wird. Er dient einmal zur Feststellung der tatsächlich erreichten Härtetiefe und dann als Kontrollstück für ev. Reklamationen. Zu letzterem Zwecke wird er gekennzeichnet, mit einer Leitkarte versehen, die Datum, Tag, Zeitdauer des Einsatzes, Benennung des Einsatzstückes, Nummer des Ofens, falls mehrere solcher vorhanden sind, und alles sonst nötige Wissenswerte enthalten muß, und aufbewahrt.

Die Feuerbehandlung richtet sich nach Größe und Umfang des Einsatzstückes; in der Regel genügen 6 bis 8 Stunden bei etwa 850 bis 900° C. Die Anwendung höherer Temperaturen, um die Einsatzdauer zu beschleunigen, ist schädlich (Fig. 178).

Digitized by Google

Nach Verlauf von etwa 6 bis 8 Stunden prüft man am Probierbolzen die Härtetiefe. Ist die Kohlung hinreichend tief eingedrungen, so nimmt man das Einsatzstück aus dem Kasten, bürstet es mit der Stahldrahtbürste sauber ab und läßt es langsam erkalten; danach erwärmt man von neuem in der Muffel auf 750 bis 800° C und härtet in kaltem Wasser ab unter Hin- und Herbewegen, wie vorher ausgeführt wurde.

Fig. 178. Grobkörniger Bruch an Kanten und Ecken eines eingesetzten Stahles; es wurde zu hohe Glühtemperatur angewendet. (Aus Brearley-Schäfer.)

Würde man das Abkühlen sofort nach dem Herausnehmen aus dem Einsatz vornehmen, so würde die Härte nicht intensiv genug sein, die Gefahr des Verziehens wäre besonders groß und das Material wird spröde.

Soll ein Werkstück nicht überall, sondern nur an bestimmten Stellen die Härte annehmen, so umgibt man die nicht zu kohlenden, also weich bleibenden Teile mit einer etwa 10 mm dicken Lehmschicht, die man der besseren Haltbarkeit wegen mit einem Blechstreifen umlegt und mit Bindedraht umwickelt. Im Einsatzkasten werden diese Stellen nicht mit Härtepulver sondern mit Asche umgeben (Fig. 179 bis 181).

Bei Massenartikeln wie Unterlegscheiben, Muttern, Stifte, einfache kleine Maschinenteile u. a. m., die keine tiefe Härte verlangen, an der Oberfläche jedoch glashart sein sollen, verfährt man wie folgt:

Ein mit Härtepulver gefüllter Tiegel wird auf offenem Feuer oder im Härteofen auf einer Temperatur von etwa 900° C gehalten. In die Lösung werden die auf einen Draht gereihten rotwarm vorgewärmten Teile gelegt und etwa 30 Minuten darin belassen. Die so zementierten Stücke werden dann in kaltem Wasser, leicht sich verziehende oder zur Rißbildung neigende in Öl, unter lebhaftem Hin- und Herbewegen abgekühlt. Die Farbe der abgeschreckten Teile ist stahlgrau.

Nachstehend angeführte Einsatz- und Härtemittel sind lang-

Digitized by Google

jährig erprobt und arbeiten durchaus zuverlässig. Ihre Zusammenstellung ist so einfach, daß sie jeder Härter selbst herstellen kann.

Fig. 179.

Fig. 180.

Fig. 181.

Werkstücke, bei denen die weich bleibenden Teile mit einer Schutzmasse umgeben sind. (Nach Ausführungen der Simplonwerke, Aue i. S.)

Einsatzmittel für Siemens-Martin-Stahl und Eisen.

2 Teile pulverisiertes blausaures Kali
1 Teil kalzinierte Soda
3 Teile pulverisierte Holzkohle
3 Teile Schlemmkreide.

4 Teile Hornmehl
2 Teile Knochenmehl
2 Teile pulverisierte Lederkohle
2 Teile kalzinierte Soda.

5 Teile gestoßene Holzkohle
3 Teile feines Kochsalz

Digitized by Google

2 Teile Lederkohle
1 Teil Ruß.

4 Teile Bariumkarbonat
6 Teile pulverisierte Holzkohle.

Härtemittel für Eisen und Stahl zum Gebrauche im offenen Feuer.

1 Teil kalzinierte Soda
4 Teile blausaures Kali
2 Teile feines Salz
1 Teil pulverisierte Holzkohle
etwas Gummi arabicum.

Anwendung: Der zu härtende Gegenstand wird dunkelrotwarm gemacht, mit dem Härtepulver bestreut, in reinem hellroten Feuer 2 bis 3mal abgebrannt und in kaltem Wasser abgehärtet.

Härtemittel zum Bestreichen von Fräsern, Gewindebohrern u. ä.

Fräser, Gewindebohrer und andere Werkzeuge mit vorspringenden dünnen Ecken, Zähnen usw., die beim Erhitzen an diesen dünnen Stellen leicht zu warm werden und entkohlen, werden mit der hier angegebenen Paste bestrichen:

5 Teile Schlemmkreide
2 Teile blausaures, pulverisiertes Kali
1 Teil feines Salz.

Das Ganze wird mit Wasser zu einem Teige angerührt. Die handwarm gemachten Fräser oder sonstigen Werkzeuge werden damit an den vorspringenden Teilen bestrichen, das Werkzeug zum endgültigen Erhitzen in die Muffel oder das Feuer gebracht. Vor dem Abschrecken in Wasser ist der Schutzüberzug durch Abbürsten mit der Stahldrahtbürste zu entfernen. Das Abkühlen erfolgt in Wasser.

Härtemittel für Feilen, Raspeln usw.

2 bis 3 Teile reines Hufmehl
1 Teil blausaures Kali
2 Teile Salz.

Digitized by Google

Diese drei Teile werden mit Wasser zu einem Brei angerührt, mit dieser Paste werden die Feilen vollkommen bestrichen und nach völligem Antrocknen in der Glüh- bzw. Härtemuffel auf etwa 850° C erwärmt, je nach der Güte des verwandten Stahles. Man härtet dann in gesättigtem Salzwasser ab.

XX. Rückkühlvorrichtungen für Härteöl.

Zur Kühlung größerer Ölmengen ausgedehnterer Betriebe genügen Anlagen, bei denen der Ölbehälter in einem kühlenden Wasserbade hängt, nicht mehr. Bei der großen Anzahl der zu härtenden Werkzeuge wird das Ölbad sehr bald eine höhere Temperatur annehmen, während ein Konstanthalten derselben wesentlich zum Erfolge beim Härten beiträgt.

Um die dem Öl zugeführten Wärmemengen sicher und gleichmäßig abzuführen, sind Sonderkonstruktionen entstanden, von denen diejenige nach dem Verfahren Zimmermann kurz erläutert werden soll.

Das zu kühlende Öl wird so durch einen Röhrenkühler geleitet, daß das heiße Öl auf einem bestimmten Wege an der Außenwandung der Messingrohre, das Kühlwasser im Gegenstrom durch die Rohre fließt. Aus der Schnittfigur 182 ist die Öl- und Wasserführung ersichtlich. Die besondere Führung der zu kühlenden Ölmenge berücksichtigt dabei die Zusammensetzung des Härteöles. Jedes Öl besteht bekanntlich aus Paraffinen mit verschiedenen Schmelzpunkten. Leitet man das heiße Öl durch glatte Kühlschlangen oder durch mittels Rohrschlangen gekühlte Behälter, so werden die schwer schmelzbaren Paraffine zuerst erstarren und sich an den glatten

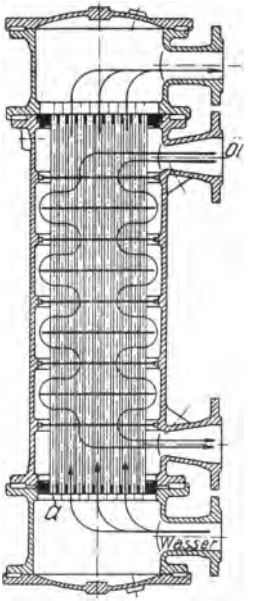


Fig. 182. Röhrenkühler im Schnitt.

Digitized by Google

Rohr- oder Behälterwandungen ablagern. Diese Ablagerungen bilden eine Isolierschicht an den Kühlrohren und verhindern die Kühlwirkung. In den Kühlern Bauart Dr. Zimmermann wird das Öl durch die eigenartige Führung immer wieder durcheinandergewirbelt und dadurch ein Ablagern der schwer schmelzbaren Paraffine verhindert; das Öl verläßt den Kühler in der gleichen Zusammensetzung, in der es hineingeleitet wurde, es bleibt sich also stets gleich.

Bei dieser Gelegenheit seien kurz die auftretenden Verunreinigungen des Härteöles erwähnt. In fast allen Fällen kann man in den Härte- und Kühlbehältern nach kurzer Betriebsdauer eine Verschlammung feststellen. Abgesehen von der mechanischen Verunreinigung des Öles durch abspringenden Zunder oder sonstige Beimengungen ist die Verunreinigung bei den bisher üblichen Anlagen durch die oben erwähnte Ausscheidung der schwer schmelzbaren Paraffine zu erklären. Durch den Zimmermann-Kühler wird einer Zerstörung des Öles sowie einer Behinderung des Betriebes wirksam vorgebeugt.

Die Ölkühler werden mit gußeisernen Gehäusen ausgeführt; zur bequemen Reinigung der Wasserwege ohne die Leitungen abbauen zu müssen, erhalten sie Wasserkammern; die Röhrenbündel bestehen i. d. R. aus Messingrohren, wobei jedes Bündel nur mit der einen Wandung eingespannt ist, das andere Ende sich frei bewegen kann, wodurch jede Wärmespannung ferngehalten wird. Das bewegliche Bündelende ist gut, aber nachgebend abgedichtet. Durch Lösen weniger Schrauben läßt sich das Röhrenbündel zur Reinigung an den Außenflächen bequem herausnehmen.

Die Ausführungsform der Ölkühler ist liegend oder stehend. Erstere Form ist bei besonders stark absetzendem Kühlwasser vorzuziehen, weil die Reinigung bequemer ist als bei letzterer, die allerdings die gebräuchlichere ist. In der Hauptsache richtet sich die Wahl der Ausführung nach den jeweiligen Verhältnissen, doch ist immer der Platz zum Herausziehen des Bündels freizuhalten. Ist für einen gegebenen Fall ein einfacher Kühler unvorteilhaft oder nicht ausreichend, so werden mehrere Einfachkühler hintereinander geschaltet, Fig. 183.

Enthält das kühlende Öl Unreinigkeiten, so wird ein Siebfilter oder ein Sumpfbecken vor die Kühler geschaltet, welche

Digitized by Google

die Unreinigkeiten ausscheiden und leicht gereinigt werden können.

Besonders zu beachten ist, daß sowohl das zu kühlende Öl wie auch das Kühlwasser unter Druck durch die Apparate zu führen ist, um diese voll auszunützen.

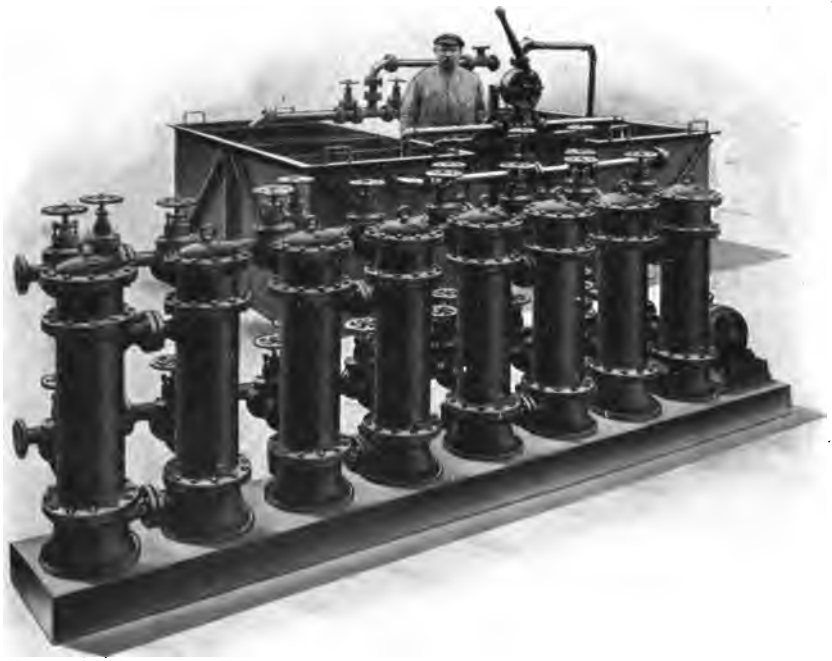


Fig. 183. Öl-Kühlanlage.

Unter besonders schwierigen Verhältnissen arbeiten die Härteöl-Rückkühler, wenn eine sehr starke Ölwärmung erfolgt, infolgedessen auch eine verstärkte Kühlung notwendig ist. Dieser Fall liegt überall da vor, wo ein großes Einzelstück, ein einziges verhältnismäßig schweres Werkstück also, in ein entsprechendes Ölbassin von geringem Ölinhalt getaucht wird. Hier wird die Ölrückkühlanlage zweckmäßig mehrfach unterteilt und ein Drillings-, Vierlings- bis Sechslingskühler aufgestellt.

Digitized by Google

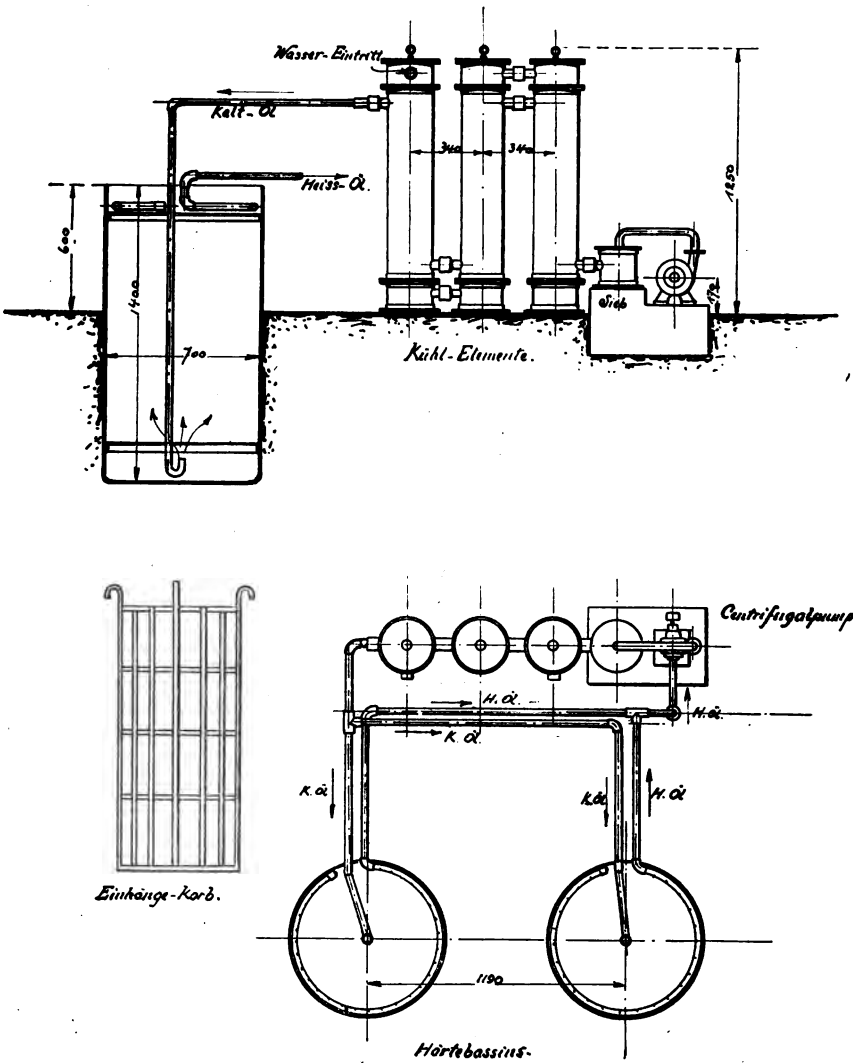


Fig. 184. Öl-Rückkühlanlage.

In dem Augenblick, wo der Stahlkörper von etwa 900° C in das etwa 25° bis 30° C warme Ölbad eingetaucht wird, findet eine außerordentliche Wärmestrahlung vom Stahl an das

Digitized by Google

Öl statt. Die Oberfläche des Stahles wird gekühlt, während der Kern zunächst heiß bleibt; das hocherhitzte Öl erfährt einen starken Auftrieb, steigt rasch an die Oberfläche, wo es leicht verdampft oder sich auch entzündet. Hieraus ergibt sich die Folgerung, das heiße Öl von der Behälteroberfläche möglichst zu entfernen.

Fig. 184 zeigt eine derartige Öl-Rückkühlanlage. Die Abnahme des heißen Öles erfolgt durch ein ringförmig gebogenes Rohr mit einer entsprechenden Anzahl Öffnungen an der Oberfläche der Härteflüssigkeit, die Zuführung des gekühlten Öles aus den Kühlern durch ein bis fast auf den Boden geführtes Zuleitungsrohr. Das zu kühlende heiße Öl wird von einer Zentrifugalpumpe angesaugt und den Kühlern zugedrückt; zum Ausscheiden der erwähnten Unreinigkeiten ist ein Sieb in einem Topf hinter die Pumpe eingebaut.

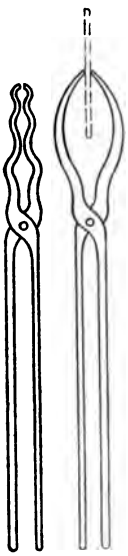


Fig. 185. In der Härterei übliche Zangenformen.

Fig. 186. Zangenständer

Digitized by Google

XXI. Sonstige Hilfsmittel einer Härterei.

Hierunter sind zunächst zu erwähnen und erforderlich eine größere Anzahl Zangen zum Erfassen der verschiedenartigen Werkzeuge. Sie sind in verschiedener Größe und Form, mit entsprechend geformtem Maule vorrätig zu halten. Es ist besonders darauf zu achten, daß das Maul der Zange mit dem erfaßten Gegenstande möglichst wenige Berührungspunkte hat, denn die von der Zange bedeckten Teile des zu härtenden Werkzeuges werden nicht rasch genug abgekühlt; die Härtung ist infolgedessen ungleichmäßig, Härterisse nehmen an der von der Zange erfaßten Stelle ihren Ausgang. Man verwendet zum Erfassen der zu härtenden Werkzeuge Zangen, deren Maul in möglichst scharfe Spitzen oder Schneiden ausläuft. Fig. 185.

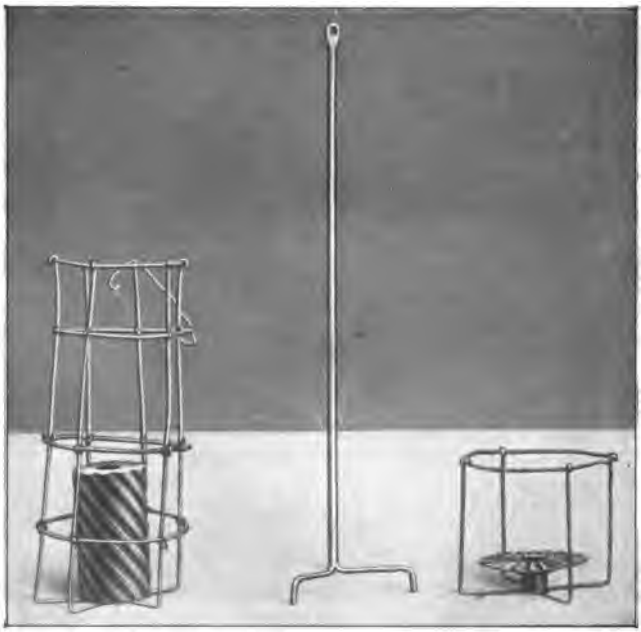


Fig. 187 u. 188. Fräser im Drahtkorb und Dreibein.

Digitized by Google

Für runde Werkzeuge, Spiralbohrer, Schneidbohrer u. dgl. nimmt man Zangen, deren Maulform Fig. 185 zeigt.

Um die Zangen möglichst warm zu halten, sind die

Fig. 189.

Fig. 190.
Verschiedene Formen von Brausen.

Schenkel aus Gasrohr hergestellt. Die nicht gebrauchten Zangen sind geordnet und übersichtlich, zum sofortigen Gebrauche bereit, aufzuhängen. Eine geeignete Vorrichtung hierzu bringt Fig. 186.

Digitized by Google

Zur weiteren Ausrüstung einer Härterei gehören noch eine Anzahl Gebrauchsgegenstände, von denen einige hier angeführt werden mögen:

Draht in verschiedenen Stärken, zum Anfertigen von Drahtkörben, Dreibeinen u. ä. m. Fig. 187 und 188.

Bleche zur Anfertigung der verschiedenen Kästen für Sandbäder, Muffeln, Brausen;

Rohre verschiedenen Durchmessers, Verbindungs- und Anschlußstücke dazu zur Herstellung von Abkühlvorrichtungen, Fig. 189 und 190;

Drahtbürsten, zum Reinigen der Schweißstellen von Glühspan;

Eisen- und Stahlfeilspäne;

Asbest; Sand für Sandbäder; fein gesiebte Asche u. dgl. mehr. Viele Dinge sind hier verwendbar, die sonst in den Schrot- und Abfallhaufen wandern.

Sonderfabrikationen erfordern in der Regel Sondereinrichtungen, dies um so mehr, wenn es sich um die Herstellung von Massenartikeln handelt.

Zum Glühen kleiner Stahlteile, z. B. Stahlkugeln zur Herstellung von Kugellagern, mit nachfolgendem Härten, verwendet man Glüh- und Härtemaschinen mit Gas- bzw. Ölfeuerung.

In der Hauptsache besteht die Glühmaschine aus einem Glühzylinder aus Eisenblech, auf Rollen gelagert und von diesen in Umdrehungen versetzt, der mit hochfeuerfesten Schamottesteinen in Form einer Gewindemutter ausgemauert ist. Das Glühgut rollt durch die Gewindegänge hindurch und fällt am anderen Ende durch eine entsprechende Austragvorrichtung in den darunter angeordneten Härtetrog. Eine in diesem angeordnete Transportschnecke, die von der Glühtrommel mittels Kette und Kettenrad angetrieben wird, befördert das Härtegut an das entgegengesetzte Ende des Troges, wo eine geeignete Hebevorrichtung die gehärteten Teile in ein bereitstehendes Gefäß befördert. Fig. 191 und 192 zeigen Glüh- und Härtemaschine, wie auch die Einrichtungen zur dauernden Temperaturkontrolle.

Digitized by Google

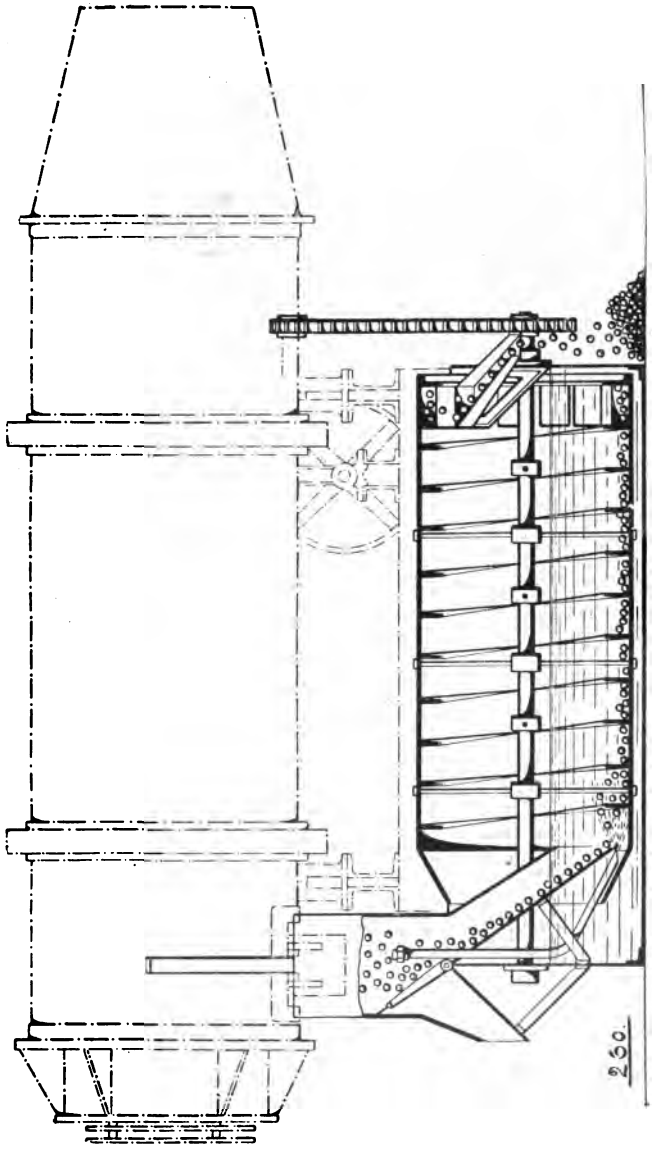


Fig. 191.

Digitized by Google

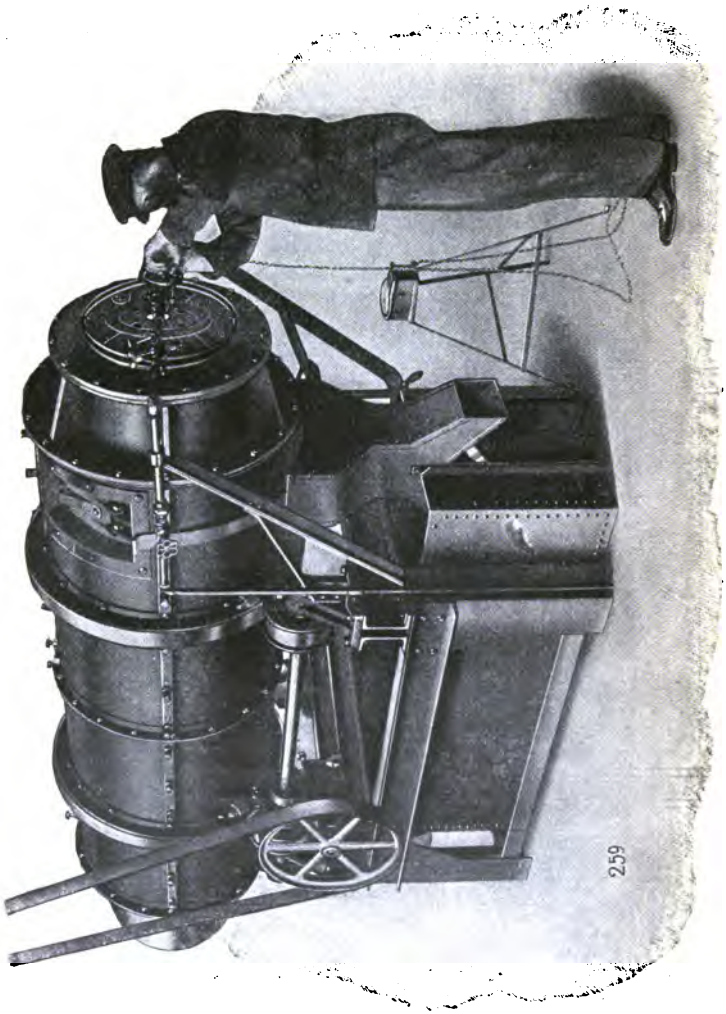


Fig. 192.

Digitized by Google

XXII. Englisch Zoll in Millimetern.

Englisch Zoll	Millimeter	Englisch Zoll	Millimeter
1/32	0,793	17/32	13,493
1/16	1,587	9/16	14,287
3/32	2,381	19/32	15,081
1/8	3,174	5/8	15,874
5/32	3,968	21/32	16,668
3/16	4,762	11/16	17,462
7/32	5,556	23/32	18,256
1/4	6,349	3/4	19,049
9/32	7,143	25/32	19,843
5/16	7,937	13/16	20,637
11/32	8,731	27/32	21,431
3/8	9,524	7/8	22,224
13/32	10,318	29/32	23,018
7/16	11,112	15/16	23,812
15/32	11,906	31/32	24,606
1/2	12,699	1	25,399

XXIII. Preise des Stahles.

Es wurde an anderer Stelle darauf aufmerksam gemacht, beim Stahleinkauf auf die Herkunft des Stahles und den Ruf des erzeugenden Werkes in Verbraucherkreisen unter allen Umständen zu achten. Diese Forderung soll nun noch eine Erweiterung dahin erfahren, die Einkaufs- und Überpreise der einzelnen Stahlsorten ständig nachzuprüfen. Mit geringen Abweichungen sind die Verkaufspreise der erstklassigsten und bekanntesten Werkzeuggußstahlwerke für die im Handel vorkommenden Ia Qualitäten durchweg die gleichen.

Die früher hier angegebenen Preise sind in keiner Beziehung mehr zutreffend, weshalb ihre Wiedergabe nur irreführen würde, daher besser unterbleibt.

Digitized by Google

XXIV. Gewichtstabelle.

(1 cbm Stabstahl wiegt ca. 7870 kg.)

Dicke	Gewicht in kg pro Meter			Dicke	Gewicht in kg pro Meter			Dicke	Gewicht in kg pro Meter		
mm	4kant.	6kant.	rund	mm	4kant.	6kant	rund	mm	4kant.	6kant.	rund
5	0,195	0,169	0,153	50	19,500	16,888	15.315	180	252,720	218,862	198,486
6	0,281	0,243	0,221	52	21,091	18,266	16,565	185	266,955	231,190	209,666
7	0,382	0,331	0,300	54	22,745	19,698	17,864	190	281,580	243,856	221,152
8	0,499	0,432	0,392	56	24,461	21,184	19.211	195	296,595	256,859	232,945
9	0,632	0,547	0,496	58	26,239	22,724	20,608	200	312,000	270,200	245,044
10	0,780	0,676	0,613	60	28,080	24,318	22,054	205	327,795	283,879	257.450
11	0,944	0,817	0,741	62	29,983	25,965	23,549	210	343,980	297,896	270,161
12	1,123	0,973	0,882	64	31,949	27,668	25,093	215	360,555	12,250	288,179
13	1,318	1,142	1,035	66	33,977	29,425	26,685	220	377.520	326,942	296,504
14	1,529	1,324	1,201	68	36,067	31,235	28,327	225	394,875	341,972	310,184
15	1,755	1,520	1,378	70	38,220	23,100	30,018	230	412,620	357,340	324,071
16	1,997	1,729	1,568	72	40,435	35,018	31,758	235	430,755	373,045	338,314
17	2,254	1,952	1,770	74	42,713	36,990	33,547	240	449,280	389,088	352,864
18	2,527	2,189	1,985	76	45,053	39,017	35,384	245	468,195	405,469	367,720
19	2,816	2,439	2,212	78	47,455	41,097	37,271	250	487,500	422,188	382,882
20	3,120	2,702	2,450	80	49,920	43,232	39,207	255	507,195	439,244	398,350
21	3,440	2,979	2,702	85	56, 55	48,805	44,261	260	527,280	456,638	414,125
22	3,775	3,269	2,965	90	63,180	54,716	49,621	265	547,755	474,370	430,206
23	4,126	3,573	3,241	95	70,395	60,964	55,288	270	568,620	492,440	446,593
24	4,493	3,891	3,529	100	78,000	67,550	61,261	275	589,875	510,847	463,287
25	4,875	4,222	3,829	105	85,995	74,474	67.540	280	621,520	529,592	480,287
26	5,273	4,566	4,141	110	94,380	81,736	74,126	285	633,555	548,675	497,593
27	5,686	4,924	4,466	115	103,155	89,335	81,018	290	655,980	568,096	515,206
28	6,115	5,296	4,803	120	112 320	97,272	88,216	295	678,795	587,854	533,124
29	6,560	5,681	5,152	125	121,875	105,547	95,720	300	702,000	607,950	551,350
30	7,020	6,080	5,513	130	131,820	114,160	103,531	305	725,595	628,384	569,881
32	7,987	6,917	6,273	135	142.155	123,110	111,648	310	749,580	649,156	588,719
34	9,017	7,809	7,082	140	152 880	132,398	120,072	315	773,955	670,265	607,863
36	10,109	8,754	7,939	145	163,995	142,024	128,801	320	798,720	691,712	627,313
38	11,263	9,754	8,846	150	175,500	151,988	137,837	325	823,875	713,497	647,070
40	12,480	10,808	9,802	155	187,395	162.289	147,180	330	849,420	735 620	667.133
42	13,759	11,916	10,806	160	199,680	172,928	156,828	335	875,355	758,080	687,502
44	15,101	13,078	11,860	165	212,355	183,905	166,783	340	901,680	780,878	708,178
46	16,505	14,294	12,953	170	225,420	195,220	177,044	345	928,395	804,014	729,160
48	17,971	15,564	14,115	175	238,872	206,872	187,612	350	955,500	827,488	750,448

von Ed. Dörrenberg Söhne, Stahlwerke, Ründeroth, den Verff. zum Abdruck überlassen.

Digitized by Google

Dicke in mm	Breite in mm																								Dicke in mm
	10	12	14	15	16	18	20	22	24	25	26	28	30	32	34	35	36	38	40	42	44	45	46	48	50	
1	0,078	0,094	0,109	0,117	0,125	0,140	0,156	0,172	0,187	0,195	0,203	0,218	0,234	0,250	0,265	0,273	0,281	0,296	0,312	0,328	0,343	0,351	0,359	0,374	0,390	1
2	0,156	0,187	0,218	0,234	0,250	0,281	0,312	0,343	0,374	0,390	0,406	0,437	0,468	0,499	0,530	0,546	0,562	0,593	0,624	0,655	0,686	0,702	0,718	0,749	0,780	2
3	0,234	0,281	0,328	0,351	0,374	0,421	0,468	0,515	0,562	0,585	0,608	0,655	0,702	0,749	0,796	0,819	0,842	0,889	0,936	0,983	1,030	1,053	1,076	1,123	1,170	3
4	0,312	0,374	0,437	0,468	0,499	0,562	0,624	0,686	0,749	0,789	0,811	0,874	0,936	0,998	1,061	1,092	1,123	1,186	1,248	1,310	1,373	1,405	1,435	1,498	1,560	4
5	0,390	0,468	0,546	0,585	0,624	0,702	0,780	0,858	0,936	0,975	1,014	1,092	1,170	1,248	1,326	1,365	1,404	1,482	1,560	1,638	1,716	1,755	1,794	1,872	1,950	5
6	0,468	0,562	0,655	0,702	0,749	0,842	0,936	1,030	1,123	1,170	1,217	1,310	1,404	1,498	1,591	1,638	1,685	1,778	1,872	1,966	2,059	2,106	2,153	2,246	2,340	6
7	0,546	0,655	0,764	0,819	0 874	0,983	1,092	1,201	1,310	1,365	1,420	1,529	1,638	1,747	1,856	1,911	1,966	2,075	2,184	2,293	2,402	2,457	2,512	2,621	2,730	7
8	0,624	0,749	0,874	0,936	0,998	1,123	1,248	1 373	1,498	1,560	1,622	1,747	1,872	1,997	2,122	2,184	2,246	2,371	2,496	2,621	2,746	2,808	2,870	2,995	3,120	8
9	0,702	0,842	0,983	1,053	1,123	1,264	1,404	1,544	1,685	1,755	1,825	1,966	2,106	2,246	2,387	2,457	2,527	2,668	2,808	2,949	3,089	3,159	3,229	3,370	3,510	9
10	0,780	0,936	1,092	1,170	1,248	1,404	1,560	1,716	1,872	1,950	2,028	2,184	2,340	2,496	2,652	2,730	2,808	2,964	3,120	3,276	3,432	3,510	3,588	3,744	3,900	10
11	0,858	1,030	1,201	1,287	1,373	1,544	1,716	1,888	2,059	2,145	2,231	2,402	2,574	2,746	2,917	3,003	3,089	3,260	3,432	3,604	3,775	3,861	3,947	4,118	4,290	11
12	0,936	1,123	1,310	1,404	1,498	1,685	1,872	2,059	2,246	2,340	2,434	2,621	2,808	2,995	3,182	3,276	3,370	3,557	3,744	3,931	4,118	4,212	4,306	4,493	4,680	12
13	1,014	1,217	1,420	1,521	1,622	1,825	2,028	2,231	2,434	2,535	2,636	2,839	3,042	3,245	3,448	3,549	3,650	3,853	4,056	4,259	4,462	4,563	4,664	4,867	5,070	13
14	1,092	1,310	1,529	1,638	1,747	1,966	2,184	2,402	2,621	2,730	2,839	3,058	3,276	3,494	3,713	3,822	3,931	4,150	4,368	4,586	4,805	4,914	5,023	5,242	5,460	14
15	1,170	1,404	1,638	1,755	1,872	2,106	2,340	2,574	2,808	2,925	3,042	3,276	3,510	3,744	3,978	4,095	4,212	4,446	4,680	4,914	5,148	5,265	5,382	5,616	5,850	15
16	1,248	1,498	1,747	1,872	1,997	2,246	2,496	2,746	2,995	3,120	3,245	3,494	3,744	3,985	4,243	4,368	4,498	4,742	4,992	5,242	5,491	5,616	5,741	5,990	6,240	16
17	1,326	1,591	1,856	1,989	2,122	2,387	2,652	2,917	3,182	3,315	3,448	3,713	3,978	4,243	4,508	4,647	4,774	5,039	5,304	5,569	5,834	5,967	6,100	6,365	6,630	17
18	1,404	1,685	1,966	2,106	2 246	2,527	2,808	3,089	3,370	3,510	3,650	3,931	4,212	4,493	4,774	4,914	5,054	5,335	5,616	5,897	6,178	6,318	6,458	6,739	7,020	18
19	1,482	1,778	2,075	2,223	2,371	2,668	2,964	3,260	3,557	3,705	3,853	4,150	4,446	4,742	5,039	5,187	5,335	5,632	5,928	6,224	6,521	6,669	6,817	7,114	7,410	19
20	1,560	1,872	2,184	2,340	2,496	2,808	3,120	3,432	3,744	3,900	4,056	4,368	4,680	4,992	5,304	5,460	5,616	5,928	6,240	6,552	6,864	7,020	7,176	7,488	7,800	20
21	1,638	1,966	2,293	2,457	2,621	2,948	3,276	3,604	3,931	4,095	4,259	4,586	4,914	5,242	5,569	5,733	5,896	6,224	6,552	6,880	7,207	7,371	7,535	7,862	8,190	21
22	1,716	2,059	2,402	2,574	2,746	3,089	3,432	3,775	4,118	4,290	4,462	4,805	5,148	5,491	5,834	6,006	6,178	6,521	6,864	7,207	7,550	7,722	7,894	8,237	8,580	22
23	1,794	2,153	2,512	2,691	2,870	3,229	3,588	3,947	4,306	4,485	4,664	5,023	5,382	5,741	6,100	6,279	6,458	6,817	7,176	7,535	7,894	8,073	8,252	8,611	8,970	23
24	1,872	2,246	2,621	2,808	2,995	3,370	3,744	4,118	4,493	4,680	4,867	5,242	5,616	5,990	6,365	6,552	6,739	7,114	7,488	7,862	8,237	8,424	8,611	8,986	9,360	24
25	1,950	2,340	2,730	2,925	3,120	3,510	3,900	4,290	4,680	4,875	5,070	5,460	5,850	6,240	6,630	6,825	7,020	7,410	7,800	8,190	8,580	8,775	8,970	9,360	9,750	25
26	2,028	2,434	2,839	3,042	3,245	3,650	4,056	4,462	4,867	5,070	5,273	5,678	6,084	6,481	6,895	7,098	7,301	7,886	8,112	8,518	8,923	9,126	9,329	9,734	15,14	26
27	2,106	2,527	2,948	3,159	3,370	3,791	4,212	4,633	5,054	5,265	5,476	5,897	6,318	6,739	7,160	7,371	7,582	8,008	8,424	8,845	9,266	9,477	9,688	10,11	10,53	27
28	2,184	2,621	3,058	3,276	3,494	3,931	4,368	4,805	5,242	5,46	5,678	6,115	6,552	6,989	7,426	7,644	7,862	8,299	8,736	9,173	9,610	9,828	10,05	10,48	10,92	28
29	2,262	2,714	3,167	3,393	3,619	4,072	4,524	4,976	5,429	5,655	5,881	6,334	6,786	7,238	7,691	7,917	8,143	8,596	9,048	9,500	9,953	10,18	10,40	10,80	11,31	29
30	2,340	2,808	3,276	3,510	3,744	4,212	4,680	5,148	5,616	5,850	6,084	6,552	7,020	7,488	7,956	8,190	8,424	8,892	9,360	9,828	10,30	10,53	10,76	11,23	11,70	30
31	2,418	2,902	3,385	3,627	3,869	4,352	4,836	5,320	5,803	6,045	6,287	6,770	7,254	7,738	8,221	8,463	8,705	9,188	9,672	10,15	10,64	10,88	11,12	11,61	12,09	31
32	2,496	2,995	3,494	3,744	3,994	4,493	4,992	5,491	5,990	6,230	6,490	6,989	7,488	7,987	8,486	8,736	8,986	9,485	9,984	10,48	10,98	11,23	11,48	11,98	12,48	32
33	2,574	3,089	3,604	3,861	4,118	4,633	5,148	5,663	6,178	6,435	6,692	7,207	7,722	8,237	8,752	9,009	9,266	9,781	10,30	10,81	11,32	11,58	11,84	12,35	12,87	33
34	2,652	3,182	3,713	3,988	4,243	4,774	5,304	5,834	6,365	6,630	6,895	7,426	7,956	8,486	9,017	9,282	9,547	10,08	10,61	11,14	11,67	11,93	12,20	12,73	13,26	34
35	2,730	3,276	3,822	4,095	4,368	4,914	5,460	6,006	6,552	6,825	7,098	7,644	8,190	8,736	9,282	9,555	9,828	10,37	10,92	11,47	12,01	12,28	12,56	13,10	13,65	35
36	2,808	3,370	3,931	4,212	4,496	5,054	5,616	6,178	6,739	7,020	7,300	7,862	8,424	8,977	9,541	9,828	10,11	10,85	11,23	11,79	12,35	12,64	12,92	13,48	14,04	36
37	2,886	3,463	4,040	4,329	4,618	5,195	5,772	6,349	6,926	7,215	7,504	8,081	8,658	9,235	9,812	10,10	10,39	10,97	11,54	12,12	12,70	12,99	13,27	13,85	14,43	37
38	2,964	3,557	4,150	4,446	4,742	5,335	5,928	6,521	7,114	7,410	7,706	8,299	8,892	9,485	10,08	10,37	10,67	11,26	11,86	12,45	13,04	13,34	13,63	14,23	14,82	38
39	3,042	3,650	4,259	4,563	4,867	5,476	6,084	6,692	7,301	7,605	7,909	8,518	9,126	9,734	10,34	10,65	10,95	11,56	12,17	12,78	13,38	13,69	13,99	14,60	15,21	39
40	3,120	3,744	4,368	4,680	4,992	5,616	6,240	6,864	7,488	7,800	8,112	8,736	9,360	9,984	10,61	10,92	11,23	11,86	12,48	13,10	13,73	14,04	14,35	14,98	15,60	40
41	3,198	3,838	4,477	4,797	5,117	5,756	6,396	7,036	7,675	7,995	8,315	8,954	9,594	10,23	10,87	11,19	11,51	12,15	12,79	13,43	14,07	14,39	14,71	15,35	15,99	41
42	3,276	3,931	4,586	4,914	5,242	5,897	6,552	7,207	7,862	8,190	8,518	9,173	9,928	10,48	11,14	11,47	11,79	12,45	13,10	13,76	14,41	14,74	15,07	15,72	16,38	42
43	3,354	4,025	4,714	5,031	5,366	6,037	6,708	7,379	8,050	8,385	8,720	9,391	10,06	10,73	11,40	11,74	12,07	12,74	13,42	14,09	14,76	15,09	15,43	16,10	16,77	43
44	3,432	4,118	4,805	5,148	5,491	6,178	6,864	7,550	8,237	8,580	8,923	9,610	10,30	10,98	11,67	12,01	12,35	13,04	13,73	14,41	15,10	15,44	15,79	16,47	17,16	44
45	3,510	4,212	4,914	5,265	5,616	6,318	7,020	7,722	8,424	8,775	9,126	9,828	10,53	11,23	11,93	12,08	12,64	13,34	14,04	14,74	15,44	15,79	16,15	16,85	17,55	45

von Ed. Dörrenberg Söhne, Stahlwerke, Ründeroth, den Verff. zum Abdruck überlassen.

Digitized by Google

XXV. Deutsche Edelstahlwerke[1]).

Lf. Nr.	Name des Werkes	Ort	Elektro-stahl-öfen
1.	Bergische Stahl-Industrie, Kommandit-Gesellschaft	Remscheid	E
2.	Bergische Stahl-, Walz- u. Hammerwerke, Julius Lindenberg	Remscheid-Hasten	
3.	Bismarckhütte	Bismarckhütte, O.-S.	E
4.	Gebrüder Bleckmann, Stahlwerke. .	Düsseldorf, Postfach 417	
5.	»Bochumer Verein für Bergbau und Gußstahlfabrik« und »Gesellschaft für Stahl-Industrie m. b. H,« . .	Bochum	
6.	Gebr. Böhler u. Co., Akt.-Ges. . . .	Düsseldorf-Obercassel	
7.	Eicken u. Co.	Hagen i. Westf.	
8.	Glockenstahlwerke, Akt.-Ges. vorm. Rich. Lindenberg	Remscheid-Hasten	E
9.	Gußstahlfabrik Felix Bischoff, G. m. b. H.	Duisburg a. Rh.	
10.	J. A. Henckels Zwillingswerk . . .	Solingen	
11.	Carl Kind u. Co.	Bielstein, Rhld.	
12.	Krefelder Stahlwerk, Akt.-Ges. . . .	Krefeld	
13.	Friedr. Krupp, Akt.-Ges., Gußstahlfabrik	Essen, Ruhr	E
14.	Oberschlesische Eisen-Industrie, Akt.-Ges. für Bergbau u. Hüttenbetrieb	Gleiwitz, O.-S.	
15.	Remy-Stahlwerke Stahlschmidt u. Co.	Hagen i. Westf.	
16.	Rheinische Metallwaren- u. Maschinenfabrik.	Düsseldorf-Derendorf	E
17.	Röchlingsche Eisen- und Stahlwerke, G. m. b. H.	Völklingen-Saar	E
18.	Gebrüder Röchling	Ludwigshafen a. Rh.	E
19.	Schöntaler Stahl- und Eisenwerke Peter Harkort & Sohn, G. m. b. H.	Wetter, Ruhr	
20.	Siegen-Solinger Gußstahl-Aktien-Verein	Solingen	
21.	J. C. Söding u. Halbach.	Hagen i. Westf.	

[1]) Den Verff. von der »Vereinigung Deutscher Edelstahlwerke« Düsseldorf, Ludendorffstr. 27 freundlichst mitgeteilt.

Digitized by Google

Lf. Nr.	Name des Werkes	Ort	Elektrostahlöfen
22.	Stachelhauser Stahl- und Walzwerke Hessenbruch & Co.	Remscheid	
23.	Stahlwerk Becker, Akt.-Ges.	Willich bei Krefeld	E
24.	Stahlwerke Brüninghaus, Akt.-Ges. .	Werdohl	
25.	Stahlwerke Ed. Dörrenberg Söhne .	Ründeroth, Rhld.	
26.	Stahlwerk Kabel C. Pouplier jr. . .	Kabel bei Hagen i. Westf.	

Literaturverzeichnis.

Verein Deutscher Eisenhüttenleute: Gemeinfaßliche Darstellung des Eisenhüttenwesens.
Otto Thalner, Werkzeugstahl.
Brearley-Schäfer, Die Wärmbehandlung des Werkzeugstahles.
C. Bach und R. Baumann, Festigkeitseigenschaften und Gefügebilder der Konstruktionsmaterialien.
F. W. Hinrichsen, Das Materialprüfungswesen.
P. Goerens, Einführung in die Metallographie des Eisens.
G. Mars, Die Spezialstähle.
A. Martens, Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau.
A. Messerschmidt, Die Einrichtung einer neuzeitlichen Härterei und Vergütungsanlage.
Dr.-Ing. Preuß, Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes.
F. Reiser, Das Härten des Stahles in Theorie und Praxis.
Abhandlungen und Berichte aus: Der Betrieb, Technik für alle, Stahl und Eisen, Werkstattstechnik, Zeitschrift für den praktischen Maschinenbau, u. a. m.
Drucksachen einer größeren Anzahl Firmen.

Digitized by Google

Sachverzeichnis.

Abgestandener Stahl 150.
Abkühlen 112.
— durch feste Körper 117.
— — Luft 117.
— in Fetten 116.
— — Metallen 116.
— — Ölen 116.
—, Vorrichtungen zum 117.
Abkühlungskurve 117.
Alkoholzusatz zum Härtewasser 116.
Allotrope Modifikation 128.
— Zustände 128.
Anlassen 121.
— im Blaubrenner 123.
— — Ölbade 123.
— — Salpeterbade 123.
— — Sandbade 123.
— — Talgbade 123.
Anschlußkopf 100.
Anschweißen 139.
Asbest 165.
Aufbrechen 20.
Aufschweißen 139.
Ausgleichsleitung 100.
Austenit 140.

Bertrand-Thiel-Prozeß 31.
Beschickung 15.
Bessemerbirne 21.
Biegeprobe 53.
Biegeversuch 49.
Blasenstahl 32, 151.
Blaubruch 10.
Blauöl 81.
Bleche 206.
Bleibad 82, 84.
Bohrmesser 155.
Brauneisenstein 13.
Brennstoffe, feste 63.
Brunnenwasser 115.

Chargiermaschine 29.
Chrom 13, 45.
Chromstahl 45, 151.

Dampfblasen 114.
Dampfhammer 40.
Dampfschicht 113.
Dolomit 26.
Doppelmuffelofen 68.
Döpper 168
Dosen-Instrument 111.
Draht 206.
Drahtbürsten 206.
Dreibein 204.
Drehspul-Meßgeräte 105.
Drehversuch 50.
Duo-Walzwerk 42.
Duplexprozeß 31.

Edelstähle 144.
Einsatzhärtung 66, 191.
Einsatzkasten 68, 194
Einsatzmittel 197.
Einstoffsystem 131.
Eisen, chemisch rein 4, 117.
—, schmiedbares 9.
Eisenerze 14.
Eisenfeilspäne 206.
Eisenkarbid 5, 140.
Eisenkohlenstofflegierung 17, 138.
Element, chemisches 2.
Entlüftung des Härteraumes 124.
Erhitzungskurve 137.
Erstarren 129.
Erstarrungsbilder der Wismut-Antimonlegierung 129.
Erstarrungsvorgang 134.
Eutektikum 134.
Eutektischer Punkt 139.

Digitized by Google

Fabrikmarke 47.
Fallhammer 41.
Fassonmesser 163.
Faulbruch 11.
Ferrit 5.
Ferromangan 24, 31, 39.
Feste Lösung 131.
Festigkeitsversuch 49.
Feuer, offenes 64.
Feuerungsanlagen 63.
Flammofen 29.
Flammofenfrischen 19.
Flußeisen 9, 18.
Flußwasser 115.
Fräser 158.
Frischen 18.
Frischfeuer 18.

Galvanometer 106.
Gärben 33.
Gärbstahl 33, 40.
Gashärteöfen 70.
—, Anzünden von 73.
Gasmesser 91.
Gastiegelanlaßofen 154.
Generator 29.
Gestell 15.
Gewindebacken 157.
Gewindebohrer 156.
Gicht 15.
Gichtgase 17.
Glühkasten 68.
Glühmaschine 206.
Glühöfen mit Ölfeuerung 79.
Glühspan 140.
Graphit 7, 12.
Grenzstoffe 2.
Grubenhacken 170.

Haltepunkt 129.
Hämmer 167.
Hammergesenke 165.
Handmeißel 167.
Handpyrometer 105.
Härteflammofen 66.
Härtegrad 47.
Härtemaschine 206.
Härtemittel 197.
Härten von Döppern 168.
— — Matrizen 114.
— — Schnellstahl 116.
— — Spiralbohrern 156.
— — Zieheisen 114.
Härteöfen mit Ölfeuerung 79.
Härteprüfung 50, 54.
Härterei 61.
Härteschlange 147.
Härtetemperatur 62.
Härtungskohle 5, 7, 12.
Herdfrischen 28.
Herkunft des Stahles 209.
Hilfselektrode 90.
Hin- und Herbiegeprobe 53.
Hochofen 15.
Hochofenschlacke 17.
Hoeschverfahren 32.
Hohlfräser 160.
Holzfräser 160.
Hüttenchemische Vorgänge 15.

Induktionsöfen 34.

Kaltbruch 11.
Kanonenbohrer 155.
Kantenrisse 47.
Kapselgebläse 91.
Karbidkohle 5, 7, 12.
Kegeldruckverfahren 51.
Kippmischer 23, 24.
Kisten, gemauerte 32.
Kochsalz-Zusatz zum Härtewasser 115.
Kohlenelektrode 35.
Kohlenstoff 6, 12.
Kohlenstoffstahl 13, 151.
Kohlenstoffstähle 138.
Kohlung 154.
Kokille 24.
Kompensationsleitung 100.
Komponenten 129.
Kontrollstück 155.
Konverter 22, 25.
Korn 10.
Kreiskörner 168.
Kreisscherenmesser 162.
Kugeldruckverfahren 51.
— nach Brinell 51, 52, 61.
Kühlgefäß 118, 121.

Laboratoriumsprüfverfahren 49.
Lancashire-Eisen 19.
Ledeburit 140.
Legierter Stahl 44.
Legierung 3, 5.
Lichtbogenöfen 34.
Lochstempel 163.
Löten des Stahles 183.
Lötstelle, heiße 98.

Digitized by Google

Lötstelle, kalte 88.
Luppenmachen 20.

Magneteisenstein 14.
Mangan 13, 23, 26, 45.
Manganstahl 13, 151.
Martensit 140.
Massut 80.
Metallemulsion 134.
Metallographie 5.
Mikroskop 56.
Minette 14.
Mischkristalle 131.
Mischungsprodukt 3.
Molybdän 14, 45.
Molybdänstahl 151.
Muffel 64.
Muffelofen 67, 69, 71.

Nähte 47.
Naturhärte 13.
Naturharter Stahl 45.
Nichtmetalle 3.
Nickel 14, 45.
Nickelstahl 152.
Nietquetscher 168.

Oberflächenhärtung 191.
Öfen für Blei- und Salzbäder 82.
— — elektrisch geheiztes Salzbad 88.
— — Gasfeuerung 70.
Ofen von Girod 36.
— — Héroult 36.
— — Keller 37.
— — Kjellin 37.
— — Röchling-Rodenhauser 30.
— — Stassano 34.

Perlit 140.
Phase 131.
Phosphor 11, 25, 28.
Plattenglühofen-Gas 72.
Prägestempel 163.
Probestäbe 49.
Probierbolzen 196.
Prüfung durch Ätzung 54
— von Werkzeugen 54.
Puddeln 19.
Pyrometer 94.
—, optisches 109.
—, selbstschreibendes 106.

Raffinierstahl 32, 33, 170.
Reibahlen 161.
Regenerieren verdorbenen Stahles 186.
Regenwasser 115.
Richten von Papiermessern 185.
— — Reibahlen 186.
— — Scherenmessern 185.
— — Spiralbohrern 186.
— — Werkzeugen 183.
Risse 47.
Ritzhärteverfahren 51.
Roheisen 9, 16, 17.
—, graues 9, 17.
—, weißes 9, 17.
Roheisenerzverfahren 31.
Roheisenmischer 22, 23, 24.
Rohöl 81.
Rohre 206.
Rohrfräser 161.
Rohrschneider 161.
Rohschienen 20.
Rollenmesser 164.
Rotationsgebläse 91.
Rotbruch 11.
Roteisenstein 14.

Salmiakzusatz zum Härtewasser 115.
Salzbad 82, 85.
Sand 165.
Schachtofen 65.
Scherenmesser 162.
Schlacke 14.
Schlagnummern 163.
Schlagversuch 50.
Schlifffläche 55.
Schmelzen 129.
Schmelzkessel 83.
Schmiedbarkeit 9.
Schmiedefeuer 53.
Schmiedeisen 9, 18.
Schmiedepresse 41.
Schmiedetemperatur 62.
Schneidbacken 157.
Schneidhaltigkeit 13.
Schnellstahl 13, 46, 90, 144, 150.
Schnitte 164.
Schrotmeißel 168.
Schrott 29.
Schrottschmelzverfahren 29.
Schuppen 47.
Schutzrohr 103.
Schutzverkleidung 103.
Schwarzbruch 11.
Schwefel 12, 18, 29.
Schweißbarkeit 12.
Schweißeisen 9, 18, 31, 56.

Digitized by Google

Schweißen 171.
Schweißhitze 172.
Schweißöfen 43.
Schweißpulver 12, 171, 181.
Schweißsand 172.
Schweißtemperatur 173.
Segerkegel 94.
Sehnen 10.
Seifenzusatz zum Härtewasser 110.
Selbsthärtende Stähle 141.
Siemens-Martinverfahren 28.
Silizium 20, 23, 26.
Skala-Gasmesser 93.
Skleroskop 60.
Skleroskophärte 13.
Sodazusatz zum Härtewasser 115.
Spateisenstein 14.
Spezialstahl 44.
Spezialstähle 141.
Spiegeleisen 24, 30.
Spiralbohrer 156.
Spitze 20.
Stahl 10.
Steinhauerwerkzeuge 170.

Tabelle der Segerkegel 96.
Talbot-Verfahren 32.
Tantalstahl 144.
Technologische Proben 51.
Teeröl 79.
Temperaturfernschreiber 97.
Temperaturmessung 94.
—, elektrische 97.
Temperkohle 7, 12.
Thermoelement 98.
Tieföfen 24.
Tiegelstahl 32, 33, 42.
Titan 14.
Triowalzwerk 42.
Turboventilator 92.

Umsetzen 20.
Umwandlungstemperatur 149.
Umwandlungszone 147.
Uranstahl 144.

Überhitzter Stahl 188.

Vanadinstahl 152.
Vanadium 14, 45.
Ventilator 91.
Verbessern verdorbenen Stahles 186.
Verbesserungsmittel 198.
Verbindung, chemische 2, 3.
Verbrannter Stahl 187.
Verbrennungsluft 91.
Verdorbener Stahl 190.
Verglühter Stahl 190.
Versuchsbolzen 195.
Vertikalofen 74, 76.
Verwandtschaft, chemische 3.
Verwindungsprobe 54.
Vorgänge, chemische 1.
—, physikalische 1.

Walzwerk 41.
Wasser, kalkhaltiges 115.
Wärmewirtschaft 124.
Wärmöfen 43.
Weichflecke 84.
Weichkernstahl 46.
Werkzeuge für Bergwerksbetrieb 169.
— — Steinbrüche 169.
Werkzeugstahl 43.
Widerstandsöfen 34.
Widerstandsthermometer 97.
Wien-Planckscher Gesetz 110.
Wolfram 13, 45.
Wolframstahl 13, 45, 46, 151.

Zangen 203.
Zementieren 32, 191.
Zementit 139.
Zementstahl 32.
Zentrumbohrer 155.
Ziehdorne 169.
Zimmermannsche Kühlvorrichtung 199.
Zugversuch 49.
Zusatz von Salzen 115, 116.
— — Säuren 115, 116.
Zuschläge 14.
Zustandsdiagramm 130.
Zyankali-Gashärteofen 86.

Digitized by Google

Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig.

Digitized by Google

Härte-Praxis. Von **Carl Scholz.** Preis M. 4.—

Die praktische Nutzanwendung der Prüfung des Eisens durch Ätzverfahren und mit Hilfe des Mikroskopes. Kurze Anleitung für Ingenieure, insbesondere Betriebsbeamte. Von Dr.-Ing. **E. Preuß** (†). Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Herausgegeben von Prof. Dr. **G. Berndt** und Ingenieur **A. Cochius.** Mit 153 Figuren im Text und auf 1 Tafel.
Preis M. 14.—; gebunden M. 18.40

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift: "The heat treatment of tool steel" von **H. Brearley** in Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer** in Berlin. Zweite, durchgearbeitete Auflage. Mit 212 Textfiguren.
Gebunden Preis M. 16.—*

Die Schneidstähle, ihre Mechanik, Konstruktion und Herstellung. Von Dipl.-Ing. **Eugen Simon.** Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage. Mit 545 Textabbildungen. Preis M. 6.—*

Probenahme und Analyse von Eisen und Stahl. Hand- und Hilfsbuch für Eisenhütten-Laboratorien. Von Professor Dipl.-Ing. **O. Bauer** und Dipl.-Ing. **E. Deiß.** Mit 128 Abbildungen.
Gebunden Preis M. 9.—*

Chemische Untersuchungsmethoden für Eisenhütten und deren Nebenbetriebe. Eine Sammlung praktisch erprobter Arbeitsverfahren. Von Chefchemiker **Albert Vita** in Friedenshütte und Dr. **Carl Massenez** in Breslau. Zweite Auflage. Herausgegeben von Chefchemiker **Albert Vita.** In Vorbereitung*

Lötrohrprobierkunde. Anleitung zur qualitativen und quantitativen Untersuchung mit Hilfe des Lötrohres. Von Professor Dr. **C. Krug.** Mit 2 Figurentafeln. Gebunden Preis M. 3.—*

Die Praxis des Eisenhüttenchemikers. Anleitung zur chemischen Untersuchung des Eisens und der Eisenerze. Von Dozent Dr. **Carl Krug** in Berlin. Mit 31 Textabbildungen. Gebunden Preis M. 6.—*

Handbuch der Materialienkunde für den Maschinenbau. Von Oberregierungsrat Professor Dr.-Ing. **A. Martens,** Direktor des Materialprüfungsamtes in Großlichterfelde. In 2 Bänden.

I. Band: Materialprüfungswesen, Probiermaschinen und Meßinstrumente. Zweite Auflage in Vorbereitung.

II. Band: Die technisch wichtigen Eigenschaften der Metalle und Legierungen. Von Professor **E. Heyn.** Hälfte A: Die wissenschaftlichen Grundlagen für das Studium der Metalle und Legierungen. Metallographie. Mit 489 Abbildungen im Text und 19 Tafeln. Unveränderter Neudruck. Gebunden Preis M. 66.—*

*Hierzu Teuerungszuschläge

Digitized by Google

Das schneidbare Eisen. Konstruktion und Eigenschaften. Von Professor Dr.-Ing. Paul Oberhoffer in Aachen. Mit 345 Textabbildungen und einer Tafel. Preis M. 40; gebunden M. 45.—*

Lagerstoffe und ihre technologische Bewertung. Ein Handbuch für den Betriebs-Konstrukteur und Materialprüfungsingenieur. Von Ingenieur J. Czochralski in Frankfurt a. M. und Dr.-Ing. G. Welter. Mit 28 Textabbildungen. Preis M. 8.— gebunden M. 12.—*

Der Kessel- und Rauchkammerbaustoff mit Erfahrungen aus der Praxis für Werkstätten- und Betriebsingenieure und für Kesselbesitzer. Von G. Bleibtreu, Wien. Mit [illegible]. Preis M. 2.—*

Festigkeitseigenschaften und Gefügebilder der Konstruktionswerkstoffe. Von Professor Dr.-Ing. C. Bach in Stuttgart und Professor R. Baumann in Stuttgart. Zweite, stark vermehrte und [illegible] Auflage. Mit 500 Figuren. Gebunden Preis M. 30.—

Die Werkzeugmaschinen. Ein [illegible] für wirtschaftliche Konstruktion und Verwendung. Von Professor Fr. W. Hülle [illegible]. Zweite, vollständig [illegible] Auflage. Mit 1200 Abbildungen [illegible] und [illegible] Tafeln. In zwei Bänden. Gebunden Preis M. 102.—

Die Grundlagen der Werkzeugmaschinen und der Metallbearbeitung. Von Professor Fr. W. Hülle in Dortmund. [illegible] Auflage. Mit [illegible] Abbildungen. Gebunden Preis M. 10.—*

Über Werkarbeit und Werkzeugstähle. Autorisierte deutsche Ausgabe von Paul W. Taylor [illegible] von Professor Dr. Sanford E. Thompson [illegible]. Mit [illegible] Abbildungen im Text und auf 3 Tafeln. Gebunden Preis M. 22.—*

Handbuch der Fräserei. Ein [illegible] Nachschlagebuch [illegible] bearbeitet von [illegible] Fräsen, durchgesehene und vermehrte Auflage. Mit [illegible] Abbildungen, Tabellen [illegible] Zahlentafeln und Schaubildern. Gebunden Preis M. 18.—*

Werkzeugmaschinen [illegible] und Einrichtungen [illegible] Professor [illegible]. Zweite, [illegible] Auflage. Mit [illegible] Abbildungen. Gebunden Preis M. 15.—

* Neuer Ladenpreis ab [illegible]

Digitized by Google